Aus der Augenklinik und -poliklinik im Klinikum Westend
der Freien Universität Berlin
Ehem. Direktor: Professor Dr. H. Gasteiger

VERGLEICHENDE MESSUNGEN DER DAUER DER READAPTATIONSZEIT DES MENSCHLICHEN AUGES NACH BLENDUNG. HERVORGERUFEN MIT DEM MESOPTOMETER UND DEM AUGENSPIEGEL, UND IHRE VERKEHRSMEDIZINISCHE BEDEUTUNG

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Ulrike Feil geb. Franke
aus Stockum Krs. Arnsberg/Westf.

1971

Aus der Augenklinik und -poliklinik im Klinikum Westend
der Freien Universität Berlin
Ehem. Direktor: Professor Dr. H. Gasteiger

VERGLEICHENDE MESSUNGEN DER DAUER DER READAPTATIONSZEIT DES MENSCHLICHEN AUGES NACH BLENDUNG, HERVORGERUFEN MIT DEM MESOPTOMETER UND DEM AUGENSPIEGEL, UND IHRE VERKEHRSMEDIZINISCHE BEDEUTUNG

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Ulrike Feil geb. Franke
aus Stockum Krs. Arnsberg/Westf.

Referent: Professor Dr. H. Tiburtius

Korreferent: Professor Dr. J. Wollensak

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche
der Freien Universität Berlin

UNIV. LEIDEN BIBL.

Promoviert am: 7. Dezember 1971

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
I.	EINLEITUNG	1
II.	PHYSIOLOGISCH-OPTISCHE PROBLEMATIK	5
	WALDEN'scher Sehpurpurcyclus	6
	Lichtempfindungen	7
	1. Absolute Schwelle	8
	a) Räumliche Summation	9
	b) Zeitliche Summation	9
	c) Richtungseffekt	9
	2. Unterschiedsschwelle	9
	3. Intermittierende Lichtreize	10
	Adaptation	11
	1. Pupillenreaktion	11
	2. Räumliche Summation	11
	3. Zeitliche Summation	11
	4. Photochemische Faktoren	12
	5. Zeitliche Faktoren	12
	Blendung	13
	Intraoculare Ursachen	14
	1. Pupillenreaktion	15
	2. Stoffwechselverlangsamung	15
	3. Lichtstreuung an brechenden Medien	16
	4. Ulbricht-Kugel-Effekt	16
	Extraokulare Ursachen	17
III.	VERKEHRSMEDIZINISCHE ASPEKTE	18
	Verkehrsmedizin und Straßenverkehr	19
	Nächtlicher Straßenverkehr und Straßenbeleuchtung	19
	Nächtlicher Straßenverkehr und Dunkeladaptation	20
	Tunnelaspekte	21
	Nächtlicher Straßenverkehr und Unfallhäufigkeit	22
	Straßenverkehr und Lebensalter	23

Seite

Verkehrsmedizin und Untersuchungsmethoden 23

Historische Aspekte 23

Technische Aspekte 24

a) COMBERG-Nyktometer 24

b) GOLDMANN=WEEKERS-Gerät 24

IV. BEDEUTUNG DER READAPTATIONSZEIT (RAZ) 26

Klinische Bedeutung 26

Verkehrsmedizinische Bedeutung 26

1. Relation der RAZ zur Beleuchtung der reflekt. Fläche 27

2. Relation der RAZ zur Beleuchtungsdauer 27

3. Relation der RAZ zur Beleuchtungsstärke 27

4. Relation der RAZ zur Lichtstreuung 27

5. Relation der RAZ zur Alkoholbelastung 27

6. Relation der RAZ zur Pupillengröße 28

7. Relation der RAZ zum Lebensalter 28

8. Relation der RAZ zur Aphakie 28

V. BESCHREIBUNG DER HIER ANGEWANDTEN UNTERSUCHUNGS-TECHNIK ZUR BESTIMMUNG DER RAZ 29

A.) Mit dem Mesoptometer 29

B.) Blendungstest mit dem Augenspiegel 31

VI. ERGEBNISSE UND DISKUSSION 33

VII. ZUSAMMENFASSUNG 38

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

I. EINLEITUNG

Der Straßenverkehr scheint im allgemeinen und bei oberflächlicher Betrachtung ein Problem der Planung, der Organisation und der Rechtsprechung zu sein. Es haben sich jedoch mit fortschreitender Zivilisation immer mehr die Möglichkeiten der systematischen Erforschung in soziologischer, ökonomischer, technischer, psychologischer und schließlich medizinischer Hinsicht herauskristallisiert.

Die Entwicklung der Vollmotorisierung ist in den westlichen Ländern in vollem Gange und nicht mehr aufzuhalten; das sich daraus ergebende Verkehrsproblem aber ist nicht nur ein technisch-quantitatives, sondern auch ein menschlich-qualitatives. Somit können Juristen, Ingenieure, Psychologen und Mediziner bei seiner Lösung nur helfend eingreifen, die Lösung selbst kann nur durch die Gesellschaft herbeigeführt werden, nämlich u.a. durch die Verantwortung für Sicherheit und durch Rücksichtnahme, die von jedem einzelnen täglich geübt werden sollte.

Sicherheit aber heißt eine der wesentlichen Aufgaben der Verkehrsmedizin. Diese stellt keine isolierte Disziplin innerhalb der medizinischen Wissenschaft dar, sondern hat vielmehr Berührungspunkte zu anderen Teilgebieten, so zur Inneren Medizin, zur Orthopädie, Neurologie, Psychiatrie und zur HNO-Heilkunde.

Die Ophthalmologie hat im Rahmen der Verkehrsmedizin eine zentrale Bedeutung, denn unter den Sinnesorganen, die für den Menschen die einzige direkte Verbindung zu den Vorgängen in der Außenwelt darstellen, kommt dem Gesichtssinn schon im gewöhnlichen Leben eine außerordentliche Bedeutung zu. Aufgrund der experimentellen Erfahrungen, die in der Sinnesphysiologie und Elektrophysiologie gemacht worden sind, läßt

sich sofort die überragende Informationskapazität des menschlichen Gesichtssinnes gegenüber allen anderen Sinnesorganen erkennen. Die Netzhaut des menschlichen Auges enthält viele Millionen von Empfängerzellen, die zwar nicht alle die gleiche Empfindlichkeit besitzen, aber doch im Durchschnitt gleichzeitig etwa 800.000 Einzelreize aufnehmen können. Da auch die Trägheit der Empfänger- und Leitungsorgane des Gesichtssinnes verhältnismäßig gering ist, - im Durchschnitt kann jedes Empfängerorgan in der Sekunde etwa 50 Einzelmeldungen an das Gehirn erstatten - besitzt der menschliche Gesichtssinn eine Informationskapazität von rund 800.000 x 50, also 40 Millionen, d.h. es können allein vom Gesichtssinn rund 40 Millionen Einzelmeldungen in der Sekunde an das Gehirn weitergeleitet werden. Die wesentlich niedrigere Zahl der Empfängerorgane und Leitungsfasern des Gehörsinnes führt zu einer Informationskapazität, die nur etwa den 250sten Teil derjenigen des Gesichtssinnes ausmacht. Bei den anderen menschlichen Sinnesorganen erhält man noch kleinere Werte.

Der Gesichtssinn ist immer in Tätigkeit, d.h. es werden laufend optische Sinneseindrücke empfangen, auch dann, wenn keine Lichtreize aus der Außenwelt eintreffen. Selbst bei völliger Dunkelheit bleibt ein positiver Sinneseindruck, nämlich der des Schwarz oder eines mehr oder weniger dunklen Grau; beim Fehlen akustischer Reize hingegen ist überhaupt keine exogene Schallwahrnehmung zu verzeichnen.

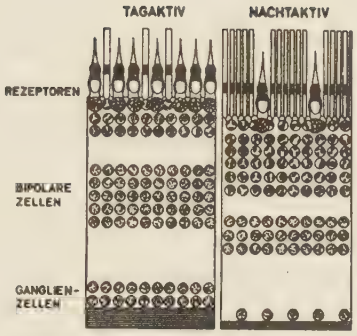
Als Folge dieser Aktivität des Gesichtssinnes und einer Vielzahl von ständig eintreffenden Einzelreizen muß eine strenge Differenzierung der für das Reaktionsverhalten bedeutsamen und unwichtigen Informationen stattfinden. Anders verhält es sich bei den übrigen Sinnesorganen, für die fast alle Reize informationswichtig sind, vorausgesetzt sie sind so stark, daß sie überhaupt empfangen werden können.

Diese eigenartige Stellung des Gesichtssinns spielt eine wichtige Rolle bei einer in der Verkehrsmedizin und der

Unfallverhütung oft diskutierten Frage, inwieweit ein Fehlverhalten des Gesichtssinns oder ein Fehlen ausreichender optischer Reize mit dem Unfallgeschehen in Zusammenhang gebracht werden kann. Dieses Problem betrifft besonders Kraftfahrer aus dem Grund, weil die anderen Sinnesorgane gegen die außerhalb des Fahrzeuges ablaufenden Ereignisse noch zusätzlich weitgehend abgeschirmt sind. Selbst das zweitwichtigste Sinnesorgan, das Ohr, kann in diesem Fall nur wenige Informationen erhalten, weil durch die Motor- und Fahrzeuggeräusche in der Regel ein Zustand geschaffen wird, der etwa dem starker Schwerhörigkeit bis Taubheit entspricht. Selbst laute und normalerweise recht auffallende akustische Signale, wie das Martinshorn eines Polizeifahrzeuges, können bekanntlich sehr oft nicht wahrgenommen werden. Tastsinn und Geruchssinn, die ohnehin beim Menschen eine verhältnismäßig kleine Rolle spielen, erhalten wichtige Informationen in der Regel nur aus dem Fahrzeuginnern.
Jeder Sachverständige in Verkehrsunfällen hat wohl die Erfahrung gemacht, daß die Verkettung einer Reihe an und für sich bedeutungsloser Faktoren, die die Informationskapazität des Gesichtssinnes im Augenblick des Unfallgeschehens entscheidend beeinträchtigen, zur Unfallursache werden können. Ein Kraftfahrer zum Beispiel, dessen geringfügige Fehlsichtigkeit in keiner Weise unfallgefährdend wäre, verursacht einen schweren Verkehrsunfall dadurch, daß wegen eben einsetzenden Regens die Windschutzscheibe des Wagens plötzlich trüb und er gleichzeitig durch ein entgegenkommendes Fahrzeug geblendet wurde. Auch die oft unfallauslösende Übermüdbarkeit, bedingt durch nicht voll funktionstüchtige und somit den Ansprüchen des Straßenverkehrs nicht gerecht werdenden Sehorgane, sei kurz erwähnt.

Selbstverständlich muß zunächst alles getan werden, um grobe Defekte im Bereich des Gesichtssinnes zu erkennen und - falls möglich - zu beheben oder die betreffenden Personen von der aktiven Teilnahme am Straßenverkehr auszuschalten. Es ist aber ebenso wichtig dafür zu sorgen, daß von Seiten

der physikalischen Reizerzeugung, in erster Linie der Licht- und Beleuchtungstechnik, aber auch durch Beachtung physiologischer und psychologischer Gesetzmäßigkeiten des Sehorgans alles getan wird, damit diejenigen Reize, die für die Information eine entscheidende Bedeutung haben, sich entweder örtlich oder zeitlich aus den unwichtigen, unter Umständen sogar störenden Reizen hervorheben. Erschöpfen diese Untersuchungen die Problematik des heutigen Verkehrsgeschehens keineswegs, so tragen sie vielleicht doch dazu bei, das Thema "Straßenverkehr" dem KUBY den Charakter einer "kollektiven Mordveranstaltung" zuschreibt, erfreulicher zu gestalten.



Aufbau der Netzhaut bei nacht-(dämmerungs-) und tagaktiven Tierformen.

Abbildung 1a

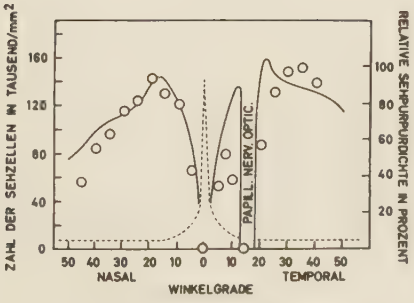
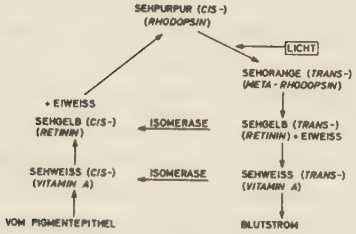


Abbildung 1b

II. PHYSIOLOGISCH-OPTISCHE PROBLEMATIK

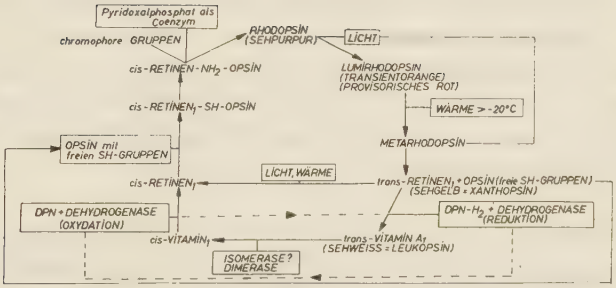
Die Ereignisse, die sich an der Netzhaut abspielen, bevor uns der Eindruck des Lichtes oder der Dunkelheit erreicht, sind vielschichtiger Natur; diese Vorgänge, in einigen wesentlichen Aspekten hervorgehoben, mögen zum Verständnis für die Problematik der sich aus ihnen ergebenden verkehrsmedizinischen Fragen dienen.

Die menschliche Retina gliedert sich bekanntlich in einen Sehteil (Rezeptoren und Fotopigmente) und in einen Gehirnteil (Nervenzellen und Fortsätze) (Abb. 1a). Als Rezeptoren fungieren hierbei die rd. 6 bis 7 Mill. Zapfen, die dem Tages- und Farbsehen dienen, und die rd. 125 Mill. Stäbchen, die das Dämmerungssehen vermitteln. Die Fovea centralis, tiefste Stelle der Macula lutea, ist zugleich Stelle des schärfsten Sehens. Sie beinhaltet ausschließlich Zapfen innerhalb eines Bezirks von 0,2 mm Durchmesser, entsprechend einem Gesichtsfeld von 1°, wohingegen in der Peripherie der Netzhaut die Stäbchen überwiegen (Abb. 1b). Verantwortlich für die Umwandlung von Licht in nervöse Impulse sind die sog. Fotopigmente, die sich in den lamellär angelegten Außengliedern der Rezeptoren lagern. Die Fotopigmente der menschlichen Zapfen sind bisher chemisch noch nicht isoliert worden. Das Fotopigment der menschlichen Stäbchen ist der Sehpurpur (Rhodopsin), seine Konzentration folgt der Verteilung der retinalen Stäbchen (Abb. 1b). Auftretende Lichtquanten werden durch den Sehpurpur absorbiert. Als unmittelbare Folge resultiert die Umlagerung von Doppelbindungen innerhalb der Farbstoffkomponente des Sehpurpurs (Retinin) aus der cis-in die trans-Konfiguration, begleitet von einer Verschiebung der Absorptionskurve (Sehorange), zum anderen erfolgt der Zerfall in Retinin (Sehgelb) und Vitamin A (Sehweiß). In der Dunkelheit kommt es spontan zur Resynthese, in dem sich Retinin und Opsin (Eiweißkomponente) zu Sehpurpur verbinden. Bei diesem Vorgang muß das trans-



Sehpurpur-Zyklus.

Abbildung 2a



Schematische Darstellung des Rhodopsinzerfalls und seiner Regeneration.

Abbildung 2b

Retinin durch die im Pigmentepithel nachweisbare Retinin-Isomerase in die Cis-Configuration rückisomerisiert werden (WALDEN'scher Sehpurpurcyclus) (Abb. 2a, 2b). Es spielt sich also an den Stäbchen ein zyklischer Vorgang ab:

Im Licht wird Rhodopsin gespalten; seine Konzentration sinkt auf ein niedriges Niveau ab. Dieser Zustand entspricht der Lichtadaptation des Auges mit minimaler Empfindlichkeit des Stäbchenapparates. In der Dunkelheit tritt Regeneration des Sehpurpurs ein; seine Konzentration erreicht einen Maximalwert. Dies entspricht der Dunkeladaptation des Auges mit maximaler Empfindlichkeit der Stäbchen (s. unten). Daß für die Empfindlichkeit der Stäbchen tatsächlich der Sehpurpur (Absorptionsmaximum in sichtbarem Licht 500mμ) maßgebend ist, geht aus folgenden Feststellungen hervor: die Kurve der spektralen Empfindlichkeit des dunkeladaptierten Auges (gemessen an der Höhe der Reizschwelle für Licht verschiedener Wellenlängen) deckt sich genau mit der Absorptionskurve des Sehpurpurs (HENRI 1911). Da nur die Stäbchen Rhodopsin enthalten, aber auch Zapfen am Dämmerungssehen beteiligt sein können, spricht man nicht vom Stäbchenapparat für das Dämmerungssehen, sondern vom sog. skotopischen System. Ihm steht das sog. photopische System gegenüber, in dem neben vorwiegend Zapfen auch Stäbchen aktiv sind (s. unten). Um die Empfindungen, die das auftreffende Licht auf der Netzhaut hervorruft, bestimmen zu können, ist es zunächst notwendig, sich mit den verschiedenen Komponenten dieses Auslösungsmechanismus' kurz zu befassen.

Lichtempfindungen lassen sich messen, indem die für eine konstante Antwort notwendige Leuchtdichte bestimmt wird. Diese kann sich beziehen auf

die absolute Schwelle (1),
die Unterschiedsschwelle (2),
die Verschmelzungsfrequenz intermittierender Lichtreize (3).

Hierbei ist der Begriff der Reizschwelle zunächst zu definieren.

Lichtsinn

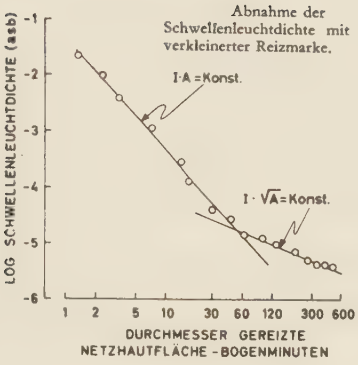
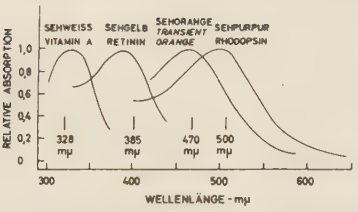


Abbildung 3

Lichtsinn



Absorptionsspektren des Sehpurpurs und seiner Bleichungsprodukte.

Abbildung 4

Die sog. absolute Schwelle (1)
des menschlichen Auges (Dämmerungssehen) liegt bei

2 bis 6×10^{-10} (1) erg (Erklärungen s. S. 8).

Folgende Untersuchungsbedingungen sind hierfür Voraussetzung:

a) Dunkeladaptation (mindestens ½ Stunde).

b) Reizdauer unter 0,1 sec (bei kürzeren Reizen ist das Produkt aus Reizdauer und Leuchtdichte maßgebend, bei längeren Reizen ist die Schwelle von der Reizdauer unabhängig).

c) Reizfeld unter 10 Raumwinkelminuten. Der Schwellenwert der Leuchtdichte (J) ist bei kleinerem Sehwinkel der Reizfläche (A), bei größerem Sehwinkel dem Durchmesser der Reizfläche ($\sqrt{A}$) proportional) Abb. 3.

d) Reizort 20° extrafoveal (größte Sehzellendichte der Netzhautperipherie) Abb. 1b,

e) blaugrünes Licht (500mμ, Maximum der Sehpurpurabsorption) Abb. 4.

Errechnung der erforderlichen Quantenzahl:

1 Quantum = $h \cdot \nu$

h = Plancksches Wirkungsquant
$= 6{,}6 \cdot 10^{-27}$ erg . sec

Schwingungszahl $\nu = \frac{c}{\lambda}$, wobei

c = Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen ("Lichtgeschwindigkeit") in m/sec = $3 \cdot 10^{17}$ mμ , sec^{-1}

λ = Wellenlänge der Strahlung in m.

$$\text{Ein Quant (500mμ)} = \frac{6{,}6 \cdot 10^{-27} \text{ erg . sec} \cdot 3 \cdot 10^{17}}{500 \cdot \text{sec}}$$

$$= 4 \cdot 10^{-12} \text{ erg}$$

Für die oben genannte absolute Schwelle ergeben sich hieraus

$$\frac{2 \text{ bis } 6 \cdot 10^{-10}}{4 \cdot 10^{-12}} = 50 \text{ bis } 150 \text{ Quanten der Wellenlänge } 500 \text{mμ}$$

Von diesen auf die Cornea fallenden Quanten erreichen etwa die Hälfte, d.h. 25 bis 75 Quanten die Netzhaut. Von den Außengliedern der Sinneszellen werden beim Menschen etwa 10% des auf die Netzhaut fallenden Lichtes absorbiert, wodurch sich die für eine Schwellenerregung notwendige Quantenzahl auf 2 - 8 verringert. Bei einer Reizfläche von 10 Minuten (etwa 500 Sinneszellen) beträgt die Wahrscheinlichkeit für eine Sinneszelle, bei 8 auftretenden Quanten 2-fach getroffen zu werden, 5,5%, bei einer zehnmal kleineren Reizfläche 44,6% (2). Da im Falle der kleineren Reizfläche bei entsprechend (10 x) erhöhter Reizintensität die Reizschwelle konstant bleibt, muß die Absorption durch ein einzelnes Lichtquant ausreichen, um eine Sinneszelle zu erregen.

Erklärungen:

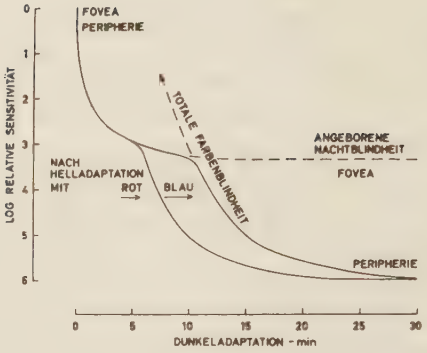
(1) 1 Watt = 10^7 erg/sec
Mechanisches Lichtäquivalent = 0,00147 Watt/Lumen (555mμ).
Die wichtigsten photometrischen Einheiten bei der Messung lichttechnischer Größen sind
Retinale Beleuchtungsstärke (Lumen/m^2) = Dioptrienzahl $(1/cm)^2$. Leuchtdichte (π . Apostilb) . Pupillenfläche (cm^2) . Durchlässigkeit der brechenden Medien des Auges.
Beleuchtungsstärke (Einheit des Empfängers) = Lux = Lumen/m^2
Leuchtdichte (Einheit des Senders) = Candela/m^2 (= Nit) = Apostilb/π
Asb = Leuchtdichte einer Fläche, die 1 Lux vollständig reflektiert.
Retinale Beleuchtung (Troland) = Nit . Pupillenfläche in mm^2.

(2) Diese Zahlen errechnen sich nach Wahrscheinlichkeit p =

$$1 - \left(1 - \frac{1}{Z}\right) \cdot \left(1 - \frac{2}{Z}\right) \cdots \left(1 - \frac{m-1}{Z}\right)$$

bei m = 8 und Z = 500 beträgt p = 5,5%,
bei m = 8 und Z = 50 beträgt p = 44,6%.

Folgende Faktoren beeinflussen die absolute Schwelle:



Dunkeladaptationskurven bei Reizung verschiedener Netzhautbezirke, nach verschiedenfarbiger Helladaptation mit Lichtern (blau, rot) gleicher photopischer Wirksamkeit und bei verschiedenartigen Störungen der Netzhautfunktion (Testreize weiß).

Abbildung 5

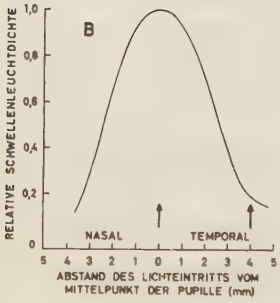
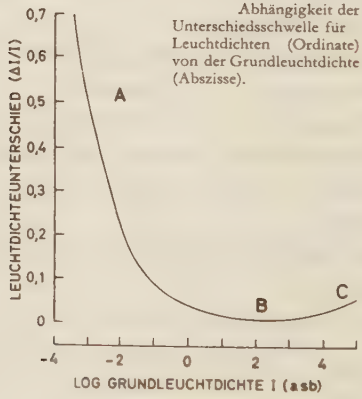


Abbildung 6



Abhängigkeit der Unterschiedsschwelle für Leuchtdichten (Ordinate) von der Grundleuchtdichte (Abszisse).

Abbildung 7

a) Räumliche Summation:
Die Rezeptoren erzeugen Potentialschwankungen, die bei genügender Amplitude eine fortgeleitete Erregung auslösen. Dabei ist in der Netzhaut für die Stärke der Summation der Umfang der aufsteigenden Konvergenz maßgebend: da der Optikus rd. 1 Million Fasern aufweist, die Netzhaut aber 3 bis 6 Millionen Zapfen und 125 Millionen Stäbchen beinhaltet, läßt sich schließen, daß die Erregungen von vielen Rezeptoren auf ein und dieselbe Nervenfaser konvergieren müssen. Lediglich im Gebiet der Fovea findet eine Erregungsübertragung von jeweils einem gesonderten Zapfen auf eine gesonderte Ganglienzelle statt. Entsprechend groß also muß die Konvergenz in den peripheren Anteilen der Netzhaut sein. Hier kann die Erregung einer einzigen Optikusfaser von mehreren 1.000 Rezeptoren erfolgen. Das hat zur Folge, daß einerseits die Trennschärfe geringer wird (und damit die Sehschärfe), andererseits jedoch die Summationsfähigkeit größer wird und damit die Empfindlichkeit bei geringster Belichtung (s. Dunkelanpassung). Das zahlenmäßige Verhältnis der Schwellenleuchtdichten zwischen Fovea und Peripherie = 1.000 : 1 wird bei Verkleinerung der Testreize geringer, um bei einem Reizfeld von der Größe eines Rezeptoraußengliedes praktisch zu verschwinden (Abb. 5).

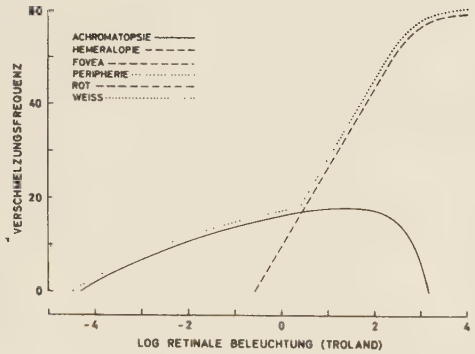
b) Zeitliche Summation:
Für die visuelle Erregung unter skotopischen Bedingungen (dunkeladaptiertes Auge, Reizung der Netzhautperipherie) ist das Produkt aus Reizdauer und Leuchtdichte bis zu 0,1 Sek., unter photopischen Bedingungen (hell adaptiertes Auge, Reizung der Fovea) bis zu 0,030 Sek. konstant.

c) Richtungseffekt:
Die Reizschwelle steigt bei parazentralem Einfall der Lichtstrahlen um einen Betrag, der umso größer ist, je weiter peripher der Lichtstrahl die Cornea durchsetzt (Abb. 6).

Als Unterschiedsschwelle (2) wird das Verhältnis der Intensitätsunterschiede zweier Reize (ΔJ /I) zur Ausgangs-

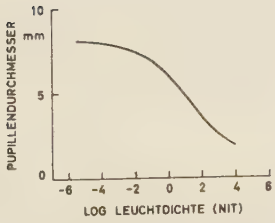
intensität I bezeichnet. Sie ist am höchsten nahe der Absolutschwelle und bei geringen Leuchtdichten (Kurventeil A Abb. 7) erreicht zwischen 10 und 1.000 asb ein Minimum von 1% (Kurventeil B) und steigt bei noch höheren Leuchtdichten (Kurventeil C). Hohe absolute Empfindlichkeit (skotopisches System) ist mit geringer Unterschiedsempfindlichkeit, geringe absolute Empfindlichkeit (photopisches System) ist mit hoher Unterschiedsempfindlichkeit verbunden. Sinkt die Unterschiedsempfindlichkeit bei sehr hohen Leuchtdichten, so ist dies Ausdruck der Absolutblendung (s. unten). Hier sei die mathematische Formulierung des Begriffs der Unterschiedsempfindlichkeit kurz erläutert. Die Unterschiedsempfindlichkeit E wird als relative Größe angegeben, das ist das Verhältnis der Gesichtsfeldleuchtdichte B zu einem ihr gegenüber eben merklichen Leuchtdichtenunterschied $\triangle B$. WEBER fand, daß die Empfindlichkeit unabhängig ist von der Reizstärke, also der Quotient $B/\triangle B$ eine Konstante ist.
FECHNER integrierte diese Gleichung $\triangle B/B = k = 1 : E$, und leitete daraus den Satz ab, daß der Reiz in logarithmischen Stufen ansteigen müsse, damit die Empfindung in linearen Stufen ansteigt. Der Satz von der Konstanz der Empfindlichkeit sollte nach Meinung beider Autoren auch für das Auge zutreffen, dieses sollte imstande sein, immer einen Unterschied von etwa 1% der jeweiligen Gesichtsfeldleuchtdichten wahrzunehmen. Spätere Autoren, besonders KÖNIG und BRODHUM, haben jedoch zeigen können, daß die Unterschiedsempfindlichkeit besonders im Bereiche der niedrigen und höchsten Gesichtsfeldleuchtdichten extrem stark hiervon abhängt. Im Bereich üblicher künstlicher und natürlicher Beleuchtungsverhältnisse (200 - 10.000 asb) aber ist diese Abhängigkeit in derart mäßigen Grenzen, daß man hier vom Geltungsbereich des WEBER-FECHNER'schen Satzes sprechen kann.

Treffen intermittierende Lichtreize (3) auf die Retina mit steigender Frequenz, so verlieren diese oberhalb einer bestimmten Frequenz den unsteten Eindruck des Flatterns und Flimmerns. Bei gleicher Gesamtlichtmenge (d.h. dem Produkt



Verschmelzungsfrequenz intermittierender Lichtreize (Ordinate) bei verschiedener retinaler Beleuchtung (Abszisse).

Abbildung 8



Durchmesser der Pupille bei verschiedener Leuchtdichte. Nit = Candela/m² = Apostilb (asb) π.

Abbildung 9

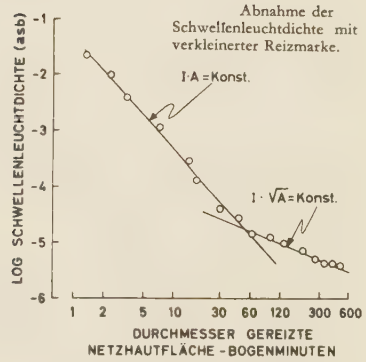


Abbildung 10

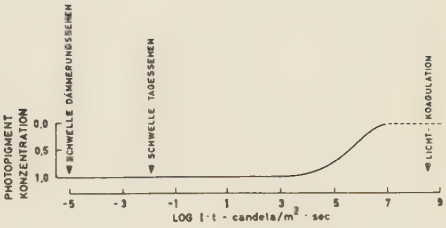
aus Leuchtdichte und der Dauer der Hellphasen) sind die Lichtreize von einer konstanten Belichtung nicht unterscheidbar. Die Verschmelzungsfrequenz ist je nach Netzhautarea, Wellenlänge und Leuchtdichte verschieden. Bei Reizung der Fovea mit sämtlichen Wellenlängen ergibt sich eine lineare Beziehung zwischen Verschmelzungsfrequenz und dem Logarithmus der Leuchtdichte. Hingegen erhält man einen zweischenkeligen Kurvenverlauf bei Reizung parafovealer und peripherer Netzhautbezirke mit zwei Abschnitten verschiedener Steilheit (Abb. 8). Dabei tritt der bei geringen Leuchtdichten erhaltene Abschnitt nur in der Netzhautperipherie hervor und bei Reizung mit Lichtern, die besonderen Reizwert für das Dämmerungssehen besitzen (weiß, blau). Dieser Abschnitt fehlt bei Reizungen der Fovea und in Fällen von angeborener und erworbener Nachtblindheit. In Fällen angeborener totaler Farbenblindheit bleibt die Verschmelzungsfrequenz bei höheren Leuchtdichten gering.

Nicht nur der Reiz des Lichtes, sondern auch der jeweilige Erregbarkeitszustand der Retina bestimmen die Gesichtsempfindungen. Die Netzhaut paßt sich mit einem Empfindungsgleichgewicht dem jeweiligen mittleren Beleuchtungszustand an. Diese Anpassungsfähigkeit wird als Adaptation bezeichnet, wobei zwischen maximaler Helladaptation und voller Dunkeladaptation Empfindlichkeitsänderungen von $1:10^6$ und mehr keine Seltenheit sind. Der adaptive Bereich wird durch folgende Faktoren bedingt:

1.) Pupillenreaktion:
Sie kontrolliert das einfallende Licht im Bereich von 1:16, wenn die Pupillenweite zwischen 2 und 8 mm schwankt (besonders bei Jugendlichen), Abb. 9.

2.) Räumliche Summation:
Bei Testreizverkleinerungen von 2° auf 1 min erhöht sich die Reizschwelle um den Faktor $1:10^4$ (Abb. 10).

3.) Zeitliche Summation:
Die Summationszeit $I \times t = k$, wobei I = Intensität und t = Dauer der Voradaptation, vermindert sich bei Hell-



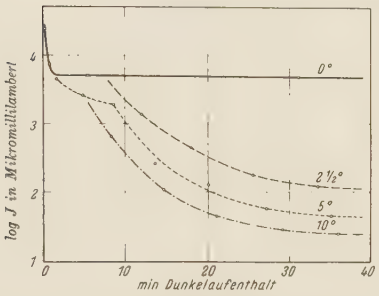
Adaptiver Bereich des menschlichen Sehens mit Absolutschwelle, Bleichungsschwelle und Zerstörung durch Lichtkoagulation.

Abbildung 11

adaptation von 0,1 sec (skotopische Antwort) auf 0,030 sec (photopische Antwort). Die genannten Faktoren kontrollieren eine adaptive Beleuchtung im Bereich von $1:10^6$.

4.) Photochemische Faktoren:
Die Adaptation betrifft vor allem die photochemischen Umsetzungen (s. oben). Dabei entspricht der Adaptation eine in jedem Augenblick definierte Menge an Rhodopsin und Zerfallsprodukten, wobei Zerfall und Regeneration ein Wirkungsgleichgewicht bilden. Erreicht die retinale Beleuchtung mehr als das 10^6-fache der absoluten Schwelle, so erfolgt die Bleichung des Photopigments (Abb. 11). Bei kurzen Lichtreizen ist der Unterschied zwischen absoluter Schwelle und Bleichungsschwelle noch größer, da das Produkt I x t = konstant für die Bleichung über einen 1.000mal größeren Bereich gültig ist als für die sensorische Schwelle (0,1 sec).

5.) Zeitliche Faktoren:
Die Leuchtdichte, die Dauer der Vorbelichtung, die Wellenlänge des Prüflichts und der Ort auf der Retina bestimmen die Änderung der Reizschwellen während der Hell- und Dunkeladaptation. Mit der Dauer und Stärke der zur Helladaptation benutzten Beleuchtung wächst die Länge der Dunkeladaptation. Das Auflösungsvermögen und die Lichtempfindlichkeit sind beim Übergang hell/dunkel schwach. Das Empfindungsgleichgewicht ist erst nach 30 bis 60 min. erreicht, wobei das Auflösungsvermögen für geringe Leuchtdichtenunterschiede verbessert wird. Der Begriff des hierbei Normalen ist von SCHOBER so festgelegt, daß nach einer Helladaptation von 3.000 asb und 10 min. Dauer ein Proband dann nachtsehtüchtig ist, wenn die Empfindlichkeit der Netzhaut nach 40 min. mindestens den 15.000-fachen Ausgangswert erreicht hat. Beim Vorgang der Dunkeladaptation vollzieht sich der Übergang vom photopischen über das mesopische zum skotopischen System in der 3. bis 10.Minute und in einem Bereich von



Der Verlauf der Dunkeladaptation innerhalb der Fovea und extrafoveal 2,5°, 5° und 10° davon entfernt. Man beachte die rasch beendete Adaptation in der Fovea und den Kurvenknick bei den extrafoveal erhaltenen Kurven. Erst nach 40-45 min ist die Dunkeladaptation beendet.

Abbildung 12

0,02 bis 50 asb. Darum ist die Empfindlichkeit in den ersten Minuten des Dunkelaufenthaltes (Sofortadaptation) von der späteren Daueradaptation verschieden, deren Ende erst nach 40 bis 50 min. bei enormer Empfindlichkeitssteigerung erreicht wird (Abb. 12): der Kurvenknick teilt die Dunkeladaptation in die frühe Zapfen- und spätere Stäbchenadaptation. Nach wenigen Minuten bereits ist die Adaptation der Fovea (Zapfen) beendet, dies zeigt das erste Kurvenstück. Der zweite Kurvenabschnitt erscheint mit der Entfernung von der Fovea zunehmend stärker. Die Empfindungszeit verläuft bei der Zapfenadaptation verkürzt, bei der Stäbchenadaptation verlängert. Beim Übergang dunkel/hell nimmt das Auflösungsvermögen zunächst ab, steigt dann aber in wenigen Augenblikken: Helladaptation, sie verläuft zweiphasig. Sie hängt ab von der Intensität der Voradaptation nach der Gleichung $I \times t = k$. Hierbei wird die erste, rasch ablaufende Phase (50 msec) alpha-Adaptation genannt. Sie betrifft unabhängig von der Netzhautbeleuchtung die gesamte Retina und geschieht als Regelvorgang auf nervalem Wege. Es kommt zu einer Abschaltung nervöser Querverbindungen, wodurch die Sehschärfe zunimmt, die Empfindlichkeit aber um maximal 80% abnimmt. Die relative Langsamkeit, die allen Regelvorgängen zu eigen ist, erklärt, warum kurz dauernde Belichtungen, etwa bei Blendung durch entgegenkommende, rasch fahrende Kraftfahrzeuge, den Adaptationszustand nicht oder nur geringfügig beeinflussen.
Die sogenannte beta-Adaptation beschränkt sich im Gegensatz zur alpha-Adaptation nur auf den belichteten Netzhautbereich, also es handelt sich hierbei um einen lokal begrenzten photochemischen Prozeß.

Zu einer Störung des lokalen Adaptationszustandes kommt es, wenn bei gegebener Adaptation die allgemeine Leuchtdichte erhöht wird, so daß diese nicht mehr dem Adaptationszustand entspricht, wir sprechen von der sogenannten Adaptationsblendung (plötzliche helle Lichtquelle in hellem Raum). Diese kann, wenn sie kurze Zeit wirkt, über die alpha-Adapta-

tion und die Pupillenweite rasch kompensiert werden. Bei der Relativblendung dagegen erscheinen auf einer umschriebenen Netzhautstelle zu große Leuchtdichtenunterschiede, so daß eine Lokaladaptation nicht mehr möglich ist (Autoscheinwerfer). Dauern Adaptations- oder Relativblendung längere Zeit an, so führt der große Unterschied zwischen Adaptations- und Blendleuchtdichte zu einer lokalen Störung des photochemischen Gleichgewichts (beta-Adaptation), verbunden mit einer über die gesamte Retina verbreiteten alpha-Adaptation und einer Erregbarkeitssenkung. Mehrere Blendquellen addieren sich wegen der verstärkten alpha-Adaptation in ihrer Wirkung. Ebenso wirken Flächenvergrößerungen der Blendquelle ($> 3^{o}$). Wird auf einer umschriebenen Retinastelle die Beleuchtungsstärke insgesamt zu groß, so erfolgt keine Adaptation mehr: Bereits nach kurzer Zeit und praktisch unbeeinflußt vom jeweiligen Adaptationszustand des Auges ist bei Absolutblendung der Sehfarbstoff ausgeblichen, es ist ein sogenanntes Blendungsskotom entstanden. Alle drei Blendungsarten können gemeinsam und isoliert auftreten, wobei sie entweder direkt von der Lichtquelle oder indirekt durch Reflektoren wirksam werden.

Blenden kommt lt. RANKE von blind machen. Dabei unterscheidet die Literatur zwischen der physiologischen Blendung (disability glare) mit Beeinträchtigungen der Sehfähigkeit, d.h. der Kontrastempfindlichkeit, der Sehschärfe und der Sehgeschwindigkeit, und der psychologischen Blendung (discomfort glare), d.h. einem subjektiven Störgefühl. MONJE spricht von Blendung bei einer übermäßigen Erhöhung der Adaptationsleuchtdichte, und zwar um das 8.000-fache. SCHOBER definiert Blendung als einen Vorgang, bei dem durch Erhöhung der Netzhautbeleuchtungsstärke der photochemische Zerfallprozeß den thermischen Wiederbildungsprozeß des Sehpurpurs übertrifft. GRAMBERG-DANIELSEN faßt Blendung als Mißverhältnis von Netzhautbelichtung und Lichtempfindlichkeit der Netzhaut auf. Die Einstellung des Lichteinfalls auf die Netzhaut ist ein Regelvorgang. Er benötigt eine

gewisse Zeit und wird vom Pupillarreflex gesteuert. Dringt eine große Lichtintensität in das Auge, so kommt es zur Blendung, weil

a) die Miosis dem Lichteinfall nachhängt; die volle Spinkterkontraktion beansprucht etwa 4 sec (s. unten),

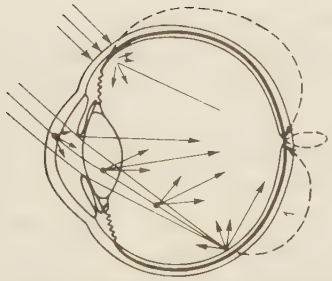
b) große Teile der Netzhaut schlagartig - sei es direkt oder infolge des Streulichts - der Lichtwirkung ausgesetzt werden und

c) eine intensive Rhodopsinbleichung erfolgt.

Es sollen hier einige Faktoren erwähnt werden, deren Beziehung zum Vorgang der Blendung von nicht unerheblicher Bedeutung ist, besonders im Sinne der Verkehrsmedizin; zunächst wird auf die intraokularen Ursachen der Blendung hingewiesen.
Hierbei interessieren nach GRAMBERG-DANIELSEN vor allem

1. die zeitlich dem Verkehr nicht immer gerecht werdende Pupillenreaktion auf Licht. Diese benötigt eine bei den im Straßenverkehr erreichten Geschwindigkeiten nicht zu vernachlässigende Zeit; bis die Lichtreaktion beendet ist, besteht in erhöhtem Maße Blendgefahr, da ein zu starker Lichtstrom die Netzhaut treffen kann. Die Beleuchtungsstärke der Netzhaut und der Adaptationszustand entsprechen sich also nicht mehr. Die Gesamtdauer der Lichtreaktion der Pupille beträgt für die Kontraktion bis zu 4 sec und für die Dilatation bis zu 16 sec. Die Regelung der Pupillenweite ist abhängig von der Frequenz, mit der eine Blendquelle leuchtet. Diese Tatsache ist z.B. bei der Konstruktion von Blinkern zu berücksichtigen. Die Blendgefahr ist umso größer, je plötzlicher sie einsetzt. Generell gilt verkehrsmedizinisch, daß eine Blendung umso schwerwiegender ist, je höher die relative Geschwindigkeit zwischen Fahrer und Blendquelle ist.

2. Hinsichtlich des alten Menschen sei gesagt, daß dieser a priori eine engere Pupille besitzt als der junge. Dies bedeutet natürlich einerseits einen gewissen Blendschutz, der aber, entsprechend dem Zusammenhang zwischen



Streulichtentstehung im Auge beim Vorhandensein von Blendquellen. Das Streulicht ist um so störender, je näher an der Netzhaut sein Entstehungsort liegt. Eine nervöse Beeinflussung zwischen verschieden erregten Netzhautbereichen wird angenommen (1) (nach SCHOBER)

Abbildung 13

Netzhautbeleuchtungsstärke und Pupillenweite, naturgemäß mit einer schlechteren Dunkeladaptation verbunden ist. Ebenfalls altersbedingt erfolgt die progrediente Stoffwechselverlangsamung und damit die Verlangsamung des Aufbaues ausgeblichenen Sehpurpurs in wieder funktionsfähigen (TIBURTIUS). Zudem ist hier unbedingt auf die altersphysiologisch bedingte Verdichtung der brechenden Medien hinzuweisen, die zu vermehrter Lichtstreuung und zur Steigerung der Blendungsempfindlichkeit führen können. (TIBURTIUS, s. unten)

3. Die Lichtstreuung an den brechenden Medien muß als ein sehr wichtiger Faktor intraokularer Blendung angesehen werden: sie setzt den Kontrast herab. Von der Seite oder u.U. diaskleral das Auge treffende Licht wird zunächst in der Netzhautperipherie abgebildet. Dadurch werden der Adaptationszustand und die Pupillweite beeinflußt. Das Licht wird aber auch im Auge selbst gestreut, und zwar umso stärker, je öfter es auf die Grenze zweier lichtdurchlässiger Medien mit verschiedener Brechungszahl trifft. Das Licht ändert somit seine Richtung, der intraokulare Raum wird mehr oder weniger aufgehellt, die Beleuchtungsunterschiede in der Netzhautgrube werden verringert und die Unterschiedsempfindlichkeit somit auf physikalischem und physiologischem Wege herabgesetzt. Gröbere Veränderungen an den brechenden Medien können die Unterschiedsempfindlichkeit ganz außerordentlich beeinträchtigen, so z.B. Hornhautnarben, Trübung der Vorderkammerflüssigkeit und besonders Linsen- sowie Glaskörpertrübungen, die die Herabsetzung des Sehvermögens besonders beim älteren Menschen beeinflussen, Abb. 13.

4. Eine Minderung der Sehschärfe kann auch dadurch bedingt sein, daß die Netzhaut ja immerhin 1 bis 3% der auffallenden Lichtmenge reflektiert (nach BRINDLEY u. WILLMER); analog verhält sich der Ulbricht-Kugel-Effekt, der darin besteht, daß ein Lichtstrahl, der auf die Innenfläche einer innen reflektierenden Kugel durch eine sehr kleine Eintrittsöffnung fällt, die gesamte Innenseite der Kugel

ausleuchtet, weil das eintretende Licht immer wieder reflektiert wird.

Von ebenso großer Bedeutung für die Verkehrsmedizin stellen sich die extraokularen Ursachen dar. Hierbei kommen neben direkten auch indirekte Blendquellen, z.B. Nichtselbstleuchter wie Gewässer, reflektierende Glasfenster, Schnee, nasse Fahrbahndecken, Chromverzierungen u.a. mehr in Betracht.
Die Blendwirkung ist direkt proportional der Lichtstärke der Blendlichtquelle und umgekehrt proportional dem Quadrat des Abstandes und dem Quadrat des Blendwinkels. Die Blendgefahr wächst bei punktförmigen und blickrichtungsnahen Blendquellen mit der dritten Potenz der Leuchtdichte dieser Blendquelle (SCHOBER) sowie bei abnehmender Gesichtsfeldleuchtdichte. Die Blendwirkung wächst aber nicht nur mit der Leuchtdichte, sondern auch mit ihrer Ausdehnung, allerdings nicht bei sehr kleinem Blendwinkel. Blendung oberhalb der Blickrichtung ist infolge Abschirmung durch die Wimpern weniger gefährlich als eine solche von seitlich oder unterhalb. Die exogene Streulichtbildung an Brillengläsern und insbesondere verschmutzten Windschutzscheiben verdient besondere Beachtung. Die Unterschiedsempfindlichkeit wird ganz erheblich herabgemindert durch den Streulichthof, "der das Sehding überdeckt und seinen photometrischen Kontrast herabsetzt" (GRAMBERG-DANIELSEN).

III. VERKEHRSMEDIZINISCHE ASPEKTE

Im nächtlichen Straßenverkehr ist im Gegensatz zu dem am Tage stattfindenden, weniger die zentrale Sehschärfe als vielmehr die Unterschiedsempfindlichkeit, das Kontrastsehen, von Bedeutung. LOSSAGK führt in seiner wissenschaftlichen Unfallerklärung aus, daß ein Hindernis im Straßenverkehr nur dann wahrgenommen werden könne, wenn der Leuchtdichtenunterschied gegenüber der Umgebung größer sei als die Unterschiedsschwelle $\triangle B_S$, also die Schwelle der Kontrastwahrnehmung des Punktes der Netzhaut, auf welchem sich das Hindernis abbildet. HOWARD erweitert diese Feststellung, indem er schreibt, daß die Wahrnehmungsschwelle für ein unerwartetes Hindernis etwa 4mal so groß sei wie für ein erwartetes. Im Straßenverkehr rechnet LOSSAGK, im Gegensatz zum Laboratorium, die Unterschiedsschwelle sogar etwa 10mal so hoch. Der oft rasche Wechsel zwischen photopischem und mesopischem Sehen bei interkurrenten Blendungen, die Umkehr der Kontraste bei Dämmerung, sowie die Adaptationsabhängigkeit an die Leuchtdichten in der Gesichtsfeldperipherie stellen wichtige Aspekte dar, die besonders bei Verkehrsunfällen Beachtung finden müssen, die aber schwer zu rekonstruieren sind.

Die Leuchtdichtenverteilung im Blickfeld ist sehr variabel, sie schwankt nach GRAMBERG-DANIELSEN bei Tageslicht maximal im Verhältnis 1:12, bei Kunstlicht dagegen bis zu $1:12 \times 10^6$. Die Unterschiedsempfindlichkeit ist abhängig vom Grad der Leuchtdichte. Richtige Adaptation vorausgesetzt, ist sie bei Leuchtdichten von 200 bis 10.000 asb optimal und bewegt sich um 1 bis 2% der herrschenden Feldleuchtdichte (richtiggestelltes WEBER-FECHNER'sches Gesetz nach KÖNIG und BRODHUM, zitiert nach SCHOBER). Bei einer Leuchtdichte von 0,5 bis 10 asb, also nachts auf der Straße, beträgt nach LOSSAGK die Unterschiedsschwelle $\triangle B_S$ 100 bis 45% der Adaptationsleuchtdichte. Bei Blendung durch nächtlichen

Gegenverkehr steigt die $\triangle B_S$ infolge der Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit um das drei- bis zehnfache an. Theoretisch sollte deshalb die Blendleuchtdichte kleiner sein als

$8 \times \sqrt[3]{\text{aus Adaptationsleuchtdichte}}$. Eine allerdings nur angenäherte Berechnung des nach einer Blendung zur Wahrnehmung eines Kontrastes erforderlichen Leuchtdichtenunterschiedes gestattet die HOLLADAY'sche Blendformel

$P = \frac{US}{US'}$, wobei P der Blendfaktor, US die relative Unterschiedsschwelle vor und US'die nach der Blendung ist. Durch den Einfluß der Blendung ist ein 1:P mal so großer Leuchtdichtenunterschied zwischen Infeld und Umfeld notwendig, um noch die erhöhte Unterschiedsschwelle zu erreichen (LAVES). Diese Formel berücksichtigt allerdings nicht den Umstand, daß die Blendempfindlichkeit der Netzhaut in den einzelnen Bereichen unterschiedlich ist, und daß Schmutzteilchen an der Windschutzscheibe oder der Brille zusätzlich Komplikationen infolge vermehrter Streuung schaffen, ferner daß die Blendempfindlichkeit individuell und geografisch verschieden ist (GRAMBERG-DANIELSEN) und schließlich die Pupillenweite und die Lichtstreuung durch eventuelle Trübung in den brechenden Medien. Praktisch bedeutet die LOSSAGK'sche Forderung an den Straßenverkehr (zitiert nach TIBURTIUS):

a) die Blendung durch Gegenverkehr weitgehend zu verringern (wobei z.B. auf Autobahnen diese Möglichkeit durch ausgedehnte Gebüschanpflanzungen gegeben ist), und

b) die Adaptationsleuchtdichte durch bestmögliche Straßenbeleuchtung optimal zu heben.

Bekanntlich werden beim Sehen drei Helligkeitsbereiche unterschieden:

1. der photopische Bereich mit reinem Zapfensehen über 10 asb,

2. der mesopische Bereich mit gemischtem Zapfen- und Stäbchensehen zwischen 0,01 bis 10 asb,

3. der skotopische Bereich mit reinem Stäbchensehen unter 0,01 asb.

Untersuchungen von NOLTE zeigten, daß die Straßenleuchtdichten bei nächtlichem Autofahren im dunkleren Teil des mesopischen Helligkeitsbereiches liegen. Weiter wird durch gute Straßenbeleuchtung das Zentralskotom möglichst klein gehalten, das ja im Bereich des Wechsels zwischen Stäbchen- und Zapfensehen (0,03 bis 40 asb) auftritt (BREGEAT und ARON, PABST und ECHTE). Da - wie oben erwähnt - der Wechsel zwischen Stäbchen- und Zapfensehen im Bereiche von 0,03 und 40 asb erfolgt (das ist das Gebiet der künstlichen Straßenbeleuchtung), bereitet vielen Menschn gerade in den ersten Anpassungsminuten die Dunkeladaptation größere Schwierigkeiten als im Bereich höher oder niedriger Leuchtdichten. Ein gut hell adaptierter Fahrer, der aus einem hell erleuchteten Haus in sein Auto steigt und auf eine Landstraße fährt, hat nach 3 Minuten bereits 3 bis 4 km zurückgelegt, ohne jedoch während dieser Zeit für die Leistungsfähigkeit seiner Kraftfahrzeugscheinwerfer ausreichend adaptiert zu sein. Das gleiche gilt auch für Abbieger, die aus hell erleuchteten und dazu oft mit Reklamelichtern als Blendreize versehenen Hauptstraßen in weniger beleuchtete Seitenstraßen einfahren (nach GRAMBERG-DANIELSEN). Die Dunkeladaptation dauert erheblich länger, oft "kilometerweit", als die Helladaptation, die der Fahrer nur zu oft als Maß nimmt. Die größten Helligkeitsunterschiede, die im Straßenverkehr vorkommen, findet man beim Einfahren in Tunnels bei Tageslicht. LOSSAGK gibt hier einen möglichen Adaptationssprung von 3.000 asb auf unter 1 asb an. Dazu stehen dem Fahrer 1 bis 3 sec, je nach Geschwindigkeit, zur Verfügung. Die Dunkeladaptation kann mit den heutigen Fahrgeschwindigkeiten nicht mehr Schritt halten, und der typische Auffahrunfall nach 15 bis 30 m hinter der Tunneleinfahrt ist die Folge. Es ist also ein Unterschied, ob man als Fußgänger einen Tunnel betritt, oder sich als Fahrer "mit 150 Stdkm aus dem Sonnenlicht

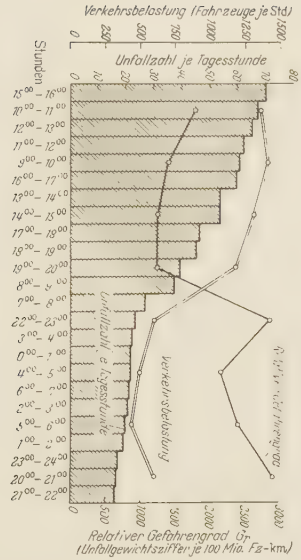


Abbildung 14

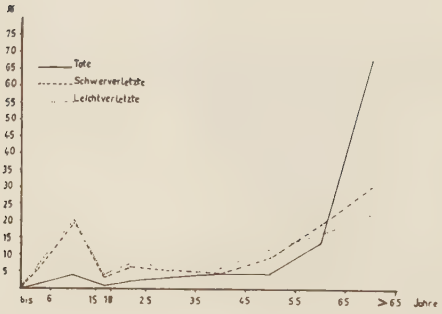


Abbildung 15

in die dunkle Tunneleinfahrt stürzt."

Besonders betont wird von einigen Autoren, u.a. BITZEL, die Feststellung, daß zwischen Helligkeit und Unfallhäufigkeit eine Relation besteht. Es wird hier eine Untersuchung des Road Research Laboratory zitiert, wonach durch Verbesserung der Straßenbeleuchtung die Zahl der Nachtunfälle und Personenschäden um 3% gesenkt werden könne. Ein Rückgang um 45% sei bei den Zusammenstößen mit Fußgängern gefunden worden. LOSSAGK gibt die Zahl der durch bessere Beleuchtung zu verhindernden Nachtunfälle mit 3% an. 1963 veröffentlichte BITZEL die Verteilung der Verkehrsunfälle über die Tagesstunden nach Zahl und Schwere auf der Autobahn Frankfurt/ Mannheim in Relation zur Verkehrsbeleuchtung (Abb. 14). Hieraus folgt, daß gerade bei Nacht die Quote der schweren Unfälle wesentlich höher liegt. HOSSE weist darauf hin, daß die Nachtunfälle im allgemeinen gefährlicher verlaufen als die Tagesunfälle. Nach TIBURTIUS ereigneten sich z.B. in Berlin 1961 von den 321 Verkehrsunfällen mit tödlichem Ausgang 132 am Tage und 189 in der Nacht. Die Zahl der Verkehrsopfer am Tage verhält sich zu der in der Nacht wie 7:10; das Verhältnis der Verkehrsdichte am Tage zu dem in der Nacht wie 7:3; demnach sterben nachts 3mal so viele Menschen den Verkehrstod, als man es auf Grund der Verkehrsdichte annehmen könnte. Etwa 70% der Toten sind Fußgänger, 2/3 davon älter als 65 Jahre; von diesen wiederum erlitten 2/3 den Verkehrstod nach Einbruch der Dämmerung. Die folgende Darstellung mag die besondere Gefährdung der alten Menschen im Straßenverkehr demonstrieren (s. Abb. 15): Jede der drei Gruppen beginnt mit einem Anstieg bis zum 15.Lebensjahr. Es handelt sich hierbei um Kinder, die in den fließenden Verkehr laufen. Nach einem steilen Abfall danach findet sich ein langsamer konstanter Anstieg mit einem Maximum jenseits des 65.Lebensjahres. 67,5% aller tödlich verunglückten Fußgänger waren älter als 65 Jahre. Da nur knapp 18% der Bevölkerung dieses Alter erreicht, ist die Gefahr also für einen älteren Fußgänger, einem

Verkehrsunfall zu erliegen, fast 4mal so groß wie für einen jüngeren. Da aber ein jüngerer Mensch weit mehr am Straßenverkehr teilnimmt, verschiebt sich diese Gefährdung noch mehr.
Der Züricher Kriminalist FREY hat von dem weit verbreiteten Irrglauben an die "technisch-statistische Unvermeidbarkeit einer bestimmten jährlichen Todesrate des Straßenverkehrs" gesprochen.

Schon 1910 rechnete es LÖWENTHAL zu den pflichtmäßigen Aufgaben der Psychologie, sich mit den Autounfällen und deren Verursachung durch das Versagen der geistigen Kräfte des Fahrers im Augenblick der Gefahr zu befassen, zu einer Zeit, in der die Zahl der Verkehrsunfälle gewiß nicht besonders alarmierend war (im Vergleich ereigneten sich 1906 1.532 und 1964 insgesamt mehr als 1 Million Unfälle). Es ist erstaunlich, daß bereits im Jahre 1900, also 14 Jahre nach dem Bau des ersten Kraftfahrzeugs (Daimler 1886), der italienische Arzt PATRICI eine psychologische Untersuchung der Fahrzeugführer angeregt hatte. Er hielt vor allem die Prüfungen der Aufmerksamkeitskonstanz für wesentlich. Damals ging er von dem Grundsatz aus, daß keineswegs jedermann gleich leistungs- und belastungsfähig sei, und daß das Führen eines Motorfahrzeugs bestimmte unabdingbare Forderungen stelle.
Wenn sich auch im Zuge der Entwicklung MÜNSTERBERG 1913, PIEROWSKI 1916 und 1918, später POPPELREUTHER und HERWIG u.a. immer wieder mit dem Problem des Menschen beim Führen von Kraftfahrzeugen beschäftigten, und wenn auch schon im Jahre 1911 nach halbamtlichen Richtlinien in großem Umfang Eignungsuntersuchungen an Kraftfahrern durchgeführt wurden, so zeigte die Forschung auf diesem Gebiet bald unverkennbar eine Stagnation. Dabei konnten sich die psychotechnischen Untersuchungen mit den im Laboratorium entwickelten Modellen, die es ermöglichen sollten, die Leistungen im Kraftfahrzeugverkehr widerzuspiegeln oder in kontrollierbare Komponenten zu zerlegen, nicht durchsetzen. Das lag

einerseits wohl an den Versuchsanordnungen selbst und an den Versuchspersonen, wie LOSSAGK in seinem Buch "Sinnestäuschung und Verkehrsunfall" beschreibt: "Genaueren ausgedehnten Versuchsreihen über die Zeit, die das scharf geblendete Auge benötigt, um wieder volle Sinnestüchtigkeit zurückzuerlangen, stellen sich die Ermüdungserscheinungen und die durchaus begreiflichen Unlustgefühle der Versuchspersonen als Hauptschwierigkeiten entgegen."

Der zweite Grund war mehr technischer Natur. Verkehrsmedizinische Untersuchungen dürfen sich ja nicht auf die reine Prüfung des Lichtsinns beschränken, sondern es muß neben der Schwellenempfindlichkeit die Sehschärfe im Verlaufe der Dunkeladaptation untersucht werden, wobei man Blendreize einschaltet. Obwohl es zahlreiche Adaptometer gab, bei denen während der Helladaptation eine diffuse Blendung vorgenommen wurde, blieb die technische Seite einer umschriebenen punktförmigen Blendung zunächst unbeachtet.

COMBERG hat 1938 zum ersten Male auf die Notwendigkeit hingewiesen, die Tauglichkeitsprüfungen für den Straßenverkehr unter verkehrsgerechten Untersuchungsbedingungen durchzuführen. Ihm gebührt das Verdienst, mit der sogenannten Nyktometrie eine Methode ausgearbeitet zu haben, die den Beleuchtungsverhältnissen auf der Straße in vielen Punkten ähnlich ist. So hat er vor allem erkannt, daß zur Tauglichkeitsprüfung eines Kraftfahrers nicht die Durchführung einer vollständigen Dunkeladaptationsprobe notwendig ist, denn voller Dunkelheit ist der Kraftfahrer fast nie ausgesetzt. Statt dessen wird bei seiner Methode eine Prüfung der Sofortadaptation vorgenommen, und zwar mit Sehzeichen. Weiterhin hat er erstmalig die Beeinträchtigung des Sehvermögens während der Blendung mit einer kleinen hellen Lichtquelle - ähnlich einem Autoscheinwerfer - untersucht. Es ergab sich also die Möglichkeit, nicht nur die Adaptation, sondern auch den Einfluß einer konstanten gleichzeitigen Blendung auf die Sehschärfe zu überprüfen. Hierbei

ist zu bemerken, daß nicht die Gesamtadapation, sondern nur die Zapfenadaptation (auch diese nicht in toto) gemessen wurde. Es handelte sich also um ein Schnelladaptometer, mehr oder minder auf Reihenuntersuchungen abgestellt.
Eine Weiterentwicklung stellte das GOLDMANN-WEEKERS'sche Universalgerät dar. Hierbei wurde u.a. die Empfindlichkeitsherabsetzung nicht nur bei gleichzeitiger (s. Nyktometer), sondern auch bei vorangegangener Blendung gemessen (Successivblendung).
In neuerer Zeit wurde von AULHORN und HARMS das sogen. Mesoptometer entwickelt. Es handelt sich hierbei um ein Gerät zur Messung der Blendungsempfindlichkeit, des Dämmerungssehens und der Nachtmyopie, und es läßt sich mit ihm, wie HARMS 1966 mitteilte, die Altersabhängigkeit der Erholungszeit nach Blendung feststellen. Das Gerät wurde für verkehrsmedizinische Belange entwickelt, und da sich der Kraftfahrer auf der durch Scheinwerfer beleuchteten nächtlichen Straße im Zustand des mesopischen Sehens befindet, erfolgen die Untersuchungen bei mesopischen Leuchtdichten.

Betrachtet man die hier zur Sprache gebrachten verkehrsmedizinischen Probleme, erinnert man sich an die Worte des Arztes PATRICI, so ist es verständlich, daß sich sowohl der Wunsch als auch die Notwendigkeit ergab, dieser Entwicklung in irgendeiner Weise Herr zu werden, und diejenigen Menschen, die zum Führen eines Kraftfahrzeuges untauglich erscheinen, vom Verkehr fernzuhalten. In der überwiegenden Anzahl der Fälle liegt der Grund für einen Verkehrsunfall im verkehrswidrigen Verhalten eines oder beider Unfallpartner, sei es durch Unachtsamkeit, Leichtsinn, Unwissen u.ä. Unabhängig aber davon und möglicherweise diese Ursachen bedingend, gibt es körperliche oder geistige Mängel, die die Verkehrstauglichkeit herabsetzen. Schon vom Jahre 1904 ab mußte sich jeder Bewerber um eine Fahrerlaubnis eingehend, einstündig und für das Honorar von 20 Goldmark durch einen Ingenieur prüfen lassen. Man kann den alten Vorschriften für diese Prüfung noch entnehmen, daß sie

äußerst sorgfältig durchgeführt werden mußte und daß sich bei ihr keinerlei Zweifel an der Eignung eines Bewerbers ergeben durften. So galt der Erwerb einer Erlaubnis zum Führen von Kraftfahrzeugen als ein Vorrecht, das nur durch den unbedenklich Geeigneten erworben werden konnte.

Das am Straßenverkehr am stärksten beteiligte Sinnesorgan ist das Auge, so daß Schäden der Sehfunktion in erster Linie verkehrsuntauglich machen. Zwischen vollem Sehen und Blindheit gibt es bekanntlich eine Anzahl von Zwischenstufen, die nach den von der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft herausgegebenen Richtlinien für die Beurteilung der Fahrtauglichkeit durch den Augenarzt zu begutachten sind. Diese Untersuchungen betreffen die zentrale Sehschärfe, die Gesichtsfeldgröße, die Stereoskopie, das Farbensehen, das Nachtsehen und schließlich die Empfindlichkeit gegen Blendung, wobei die momentane Kontrastvernichtung während der Blendung und die nachfolgende Erholungsphase beachtet werden muß.
Im Rahmen der bekannten lichtsinnesphysiologischen Untersuchungen fand die Prüfung der Dauer der Erholungszeit nach dem Blendungsvorgang, auch Readaptationszeit (RAZ) genannt, nur geringes Interesse. Sich diesem in seinen physiologischen und klinischen Aspekten noch nicht oder nicht genügend erkannten Untersuchungsgebiet eingehender zuzuwenden, lag nahe.

IV. BEDEUTUNG DER READAPTATIONSZEIT (RAZ)

Die Readaptationsprüfung steht in enger Beziehung zur Prüfung der Dunkeladaptation; diese stellt eine gute Untersuchungsmethode zur Erkennung verschiedener Augenkrankheiten dar, wurde aber wegen des mit ihr verbundenen Zeitaufwandes zu wenig angewandt. Deshalb waren Geräte entwickelt worden, wie das oben beschriebene COMBERG-NYKTOMETER, das ja unter starren Bedingungen die ersten Minuten der Dunkeladaptation und den Einfluß zwischenzeitlicher Blendung auf den Visus testete.
Während der Prüfung der Dunkeladaptation seit Jahrzehnten ein gewisses Interesse entgegengebracht worden war, sind Untersuchungen über die Veränderung der Readatationsdauer gesunder und kranker Augen recht spärlich gewesen. Dies mag einerseits darauf zurückzuführen sein, daß das Nyktometer lange Zeit nur in vereinzelten Exemplaren existierte und das GOLDMANN-WEEKERS-Gerät, welches u.a. eine Adaptationsuntersuchung nach der COMBERG-Methode ermöglichte, hierfür sehr wenig benutzt wurde. Andererseits war die Bedeutung der Bestimmung der Readaptationszeit als Diagnostikum nicht oder ungenügend erkannt. Hier war es besonders TIBURTIUS, der in seinen Arbeiten die Bedeutung der Messung der Readaptationszeit in klinischer und verkehrsmedizinischer Hinsicht hervorhob. Es sei hier nur erwähnt, daß in diesem Zusammenhang in erster Linie die Relation der RAZ zu der Retinitis centralis serosa, der Amblyopie, der Stauungspapille und der Sehnervenentzündung klinisches Interesse beansprucht.

Die Ergebnisse der Untersuchungen der RAZ im Rahmen der Verkehrsmedizin sind sowohl mit dem von TIBURTIUS entwikkelten Blendungsskotometer als auch mit dem Augenspiegel gewonnen worden. Aus diesem Gebiet seien kurz einige wichtige Punkte erörtert (TIBURTIUS).

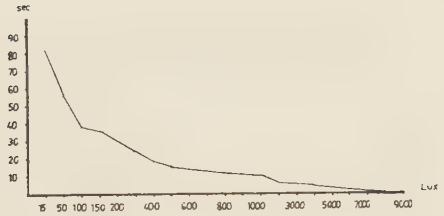


Abbildung 16

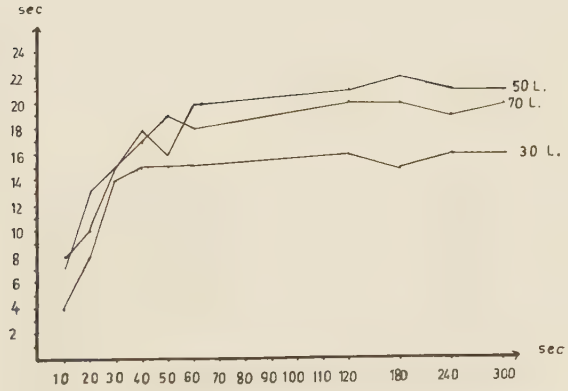


Abbildung 17

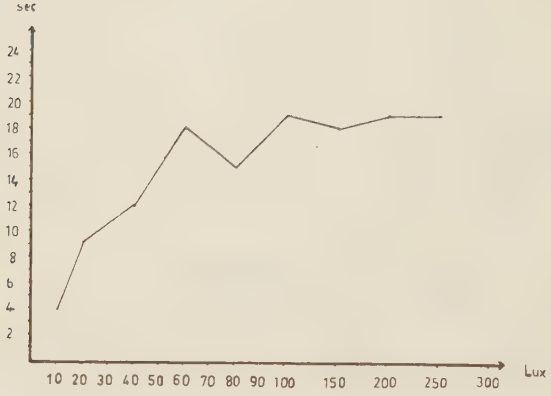


Abbildung 18

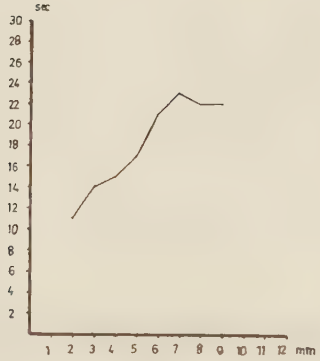


Abbildung 19

1. Abb. 16 zeigt die RAZ in Abhängigkeit von der Beleuchtung der Lesetafel. Steigt diese an, so verkürzt sich kontinuierlich die Erholungszeit. Dieser Versuch, auf die Verkehrsmedizin übertragen, veranschaulicht die Verkürzung des Blendungsausfalls bei Erhöhung der Umfeldleuchtdichte, also bei besserer Straßenbeleuchtung.

2. Abb. 17 zeigt die Skotomdauer in Abhängigkeit von der Blendungsdauer. Diese Abbildung unterstreicht die Hypothese des relativen Maximums der Ausbleichung. Die Netzhaut bleicht sehr rasch aus. Hier war bereits nach einer Minute Dauer etwa das Maximum erreicht.

3. Abb. 18 zeigt die Skotomdauer in Abhängigkeit von der Blendungsstärke. Es wurde gefunden, daß einem relativ kurzen und steilen Anstieg ein Plateau folgte, welches zwar nicht mit einem absoluten Maximum, aber doch einem unter den eingeschlagenen Bedingungen relativen an Ausbleichung der Sehelemente entspricht. Ein länger dauerndes Blendungsskotom war, selbst bei Erhöhung der Leuchtdichte auf 6,6 Mill. asb (Beleuchtungsstärke 300 Lux) nicht zu erreichen. Höhere Blendleuchtdichten sind selbst im Straßenverkehr nicht zu erwarten. Die Leuchtdichte der Scheinwerfer abgeblendet beträgt nach LOSSAGK in der Dunkelheit 36.000 asb, aufgeblendet 3 Mill. asb.

4. Wurde in den Strahlengang ein verschmutztes oder verschmiertes Glas eingeschaltet, so war infolge einer Leuchtstreuung die Readaptationsdauer eindeutig verlängert. Dies zeigt im Hinblick auf die Verkehrsmedizin die Wichtigkeit sauberer Windschutzscheiben bzw. Brillengläser.

5. Untersuchungen über Alkoholbelastungen ergaben, daß sich bei steigender Blutalkoholkonzentration (0,21 - 1,42 ‰) die Readaptationsdauer verkürzte, und zwar bei Blutalkoholwerten zwischen 1,1 und 1,42 ‰ signifikant. Als Ursache hierfür könnten biochemische Einflüsse der

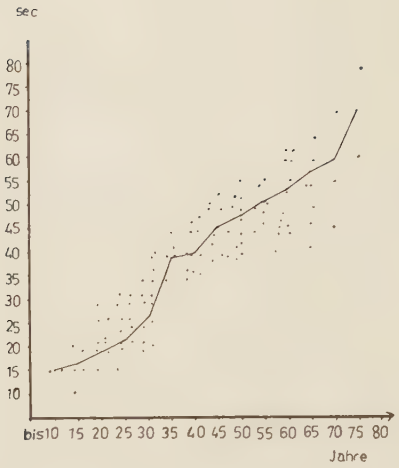


Abbildung 20

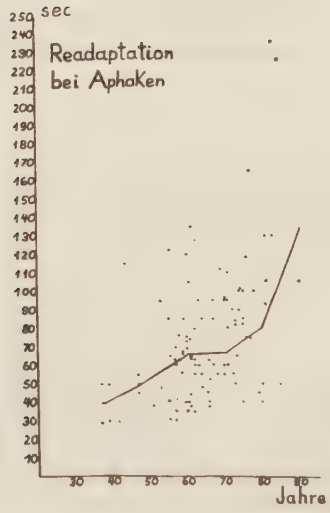


Abbildung 21

Jodopsinregenerierung oder gesteigerte Durchblutung diskutiert werden.

6. Abb. 19 zeigt die Zunahme der Skotomdauer in Abhängigkeit von der Pupillengröße. Nach SCHOBER besteht ein linearer Zusammenhang zwischen dem Logarithmus des einfallenden Lichtstromes und der Pupillenweite. Unter üblichen Bedingungen ist die Pupillengröße nicht von Bedeutung, denn in der Jugend ist sie zwar relativ groß (mit 20 Jahren im Dunkeln 8 mm, mit 60 Jahren 4,1 mm und mit 80 Jahren 2,5 mm), aber sehr gut reaktionsfähig. Die enge Pupille im Alter ist günstig, da sonst die RAZ noch länger dauern würde. Die Abbildung zeigt aber, wie gefährlich es ist, Patienten mit künstlich erweiterten und dadurch lichtstarren Pupillen in den nächtlichen Straßenverkehr zu schicken.

7. Abb. 20 demonstriert die Skotomdauer in Abhängigkeit vom Lebensalter. Die Kurve zeigt im Rahmen der üblichen Schwankungsbreite einen konstanten Anstieg der Dauer des Blendungsausfalls mit zunehmendem Lebensalter. Damit wurden die Anschauungen von GRAMBERG-DANIELSEN, PAPST und ECHTE sowie MONJÉ über die Zunahme der Readaptationszeit mit steigendem Lebensalter bestätigt.

8. Ferner wurde durch die Messung der RAZ bei Aphaken ebenfalls eine eindeutige Altersabhängigkeit gefunden. Es wurde somit die Ansicht LANGES, BUNGES und PAHLITZSCH's unterstrichen, daß die Altersabhängigkeit der Dunkeladaptation nicht nur auf die veränderte Linsenmorphologie, sondern in erster Linie auf die retinale Empfindlichkeit zu beziehen sei, d.h. auf den verlangsamten Netzhautstoffwechsel im Alter, also den verzögerten Aufbau des ausgeblichenen Sehpurpurs in wieder funktionsfähigen (Abb. 21).

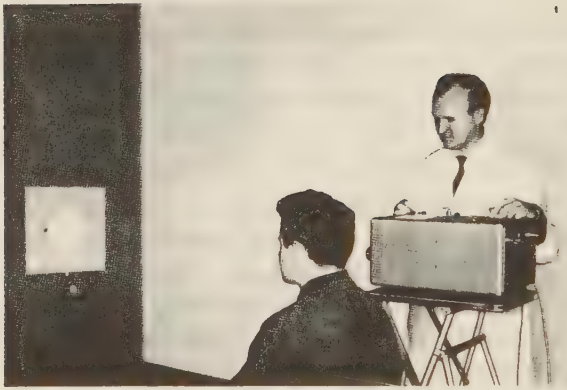


Abbildung 22

V. BESCHREIBUNG DER HIER ANGEWANDTEN UNTERSUCHUNGSTECHNIK ZUR BESTIMMUNG DER RAZ

Die Messungen zur Bestimmung der Readaptationszeit wurden mit dem Augenspiegel und dem Mesoptometer nach der unten beschriebenen Versuchsanordnung vorgenommen.
Aus einem Kreis von 100 augengesunden Versuchspersonen (VP) im Alter zwischen 15 und 60 Jahren wurden 5 Gruppen zu je 20 VP gebildet, deren altersmäßige Verteilung folgendermaßen aussah:

1. Gruppe 20 Personen	Alter 15 - 19 Jahre
2. Gruppe 20 Personen	Alter 20 - 29 Jahre
3. Gruppe 20 Personen	Alter 30 - 39 Jahre
4. Gruppe 20 Personen	Alter 40 - 49 Jahre
5. Gruppe 20 Personen	Alter 50 - 59 Jahre.

Jede VP wurde mit dem Augenspiegel und nach einer Pause von 5 Min. mit dem Mesoptometer untersucht (s.u.).

Es war herauszustellen, mit welcher der beiden Methoden eine festere Beziehung zwischen Readaptationszeit und Alter zum Ausdruck zu bringen sei, ferner, welcher Untersuchungsmethode unter Berücksichtigung von Genauigkeit auf der einen, Einfachheit und Zeitersparnis auf der anderen Seite der Vorzug zu geben sei.

Beschreibung der Untersuchungstechnik

A) Das Mesoptometer

1) Das Gerät besteht aus Projektionsapparat und Schirm. Die Versuchsperson (VP) sitzt in 3 m Entfernung zum Projektionsschirm und in 35 cm Entfernung neben dem Mesoptometer (s. Abb. 22). Nach der hier nicht näher zu beschreibenden Eichung des Gerätes wird die Stuhlhöhe so eingerichtet, daß die Augen der VP in Höhe der Mesoptometer-Projektoren sind. Dann wird der Patient aufgefor-

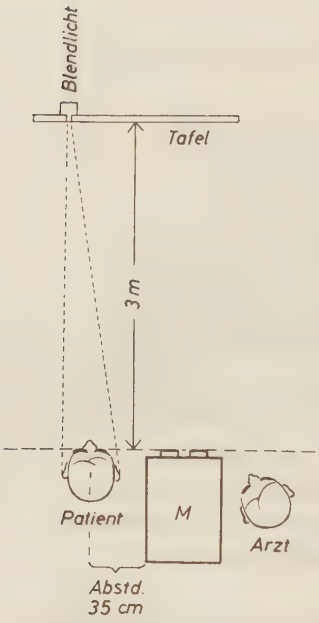


Abbildung 23

dert, die Augen zu schließen. Es wird kontrolliert, ob der Patientenkopf im Blendlichtkegel liegt (s. Abb. 23). Jetzt wird der Hebel "Helleres Umfeld" (0,32 asb) eingeschaltet. Die nun folgenden 5 Minuten sollen der Adaptation dienen. Nach 5 Minuten besteht Volladaptation auf dieses Umfeld von 0,32 asb. Man benutzt diese 5 Minuten zweckmäßig dazu, den Prüfling auf seine Aufgabe vorzubereiten: Angabe der Richtung der Öffnung des LANDOLT-Ringes, und zwar im Uhrzeigersinn: also Öffnung bei 12 h, 3 Uhr, 6 Uhr etc.
Diese Einweisung erfolgt am besten mit starken Kontrasten. Frühestens 5 Minuten nach Ausschalten der Raumbeleuchtung darf der eigentliche Untersuchungsgang beginnen:

I) Kontrastschwellenbestimmung bei Umfeld 0,32 asb.
Der LANDOLT-Ring wird mit zunächst starken, dann immer geringer werdenden Kontrasten dargeboten. Derjenige Kontrast gilt als Schwelle, bei dem nacheinander 3 beliebige Ringstellungen richtig erkannt werden. Die Erkennungszeit darf 3 sec nicht überschreiten. Sie wird durch Einschalten der Stoppuhr gemessen, Dauert sie zu lange, muß mit dem nächst stärkeren Kontrast geprüft werden. Während der Richtungsänderung des LANDOLT-Ringes mit Drehknopf soll dieser nicht sichtbar sein.

2) Messung der Readaptationszeit
Einschalten des helleren Umfeldes (0,32 asb), des Kontrastes "3" und der Fixationspunkte. Der Prüfling wird darauf hingewiesen, daß es jetzt auf möglichst rasches Erkennen der Ringstellung ankommt. Er wird aufgefordert, in die Mitte zwischen die zwei Fixationspunkte zu sehen und diese Blickrichtung auch bei einsetzender Blendung nicht zu verändern. Einschalten des 10-sec-Blendlichtes.

Während der Blendung verändert der Untersucher die Ringstellung; außerdem achtet er darauf, daß der Prüfling beide Augen offen läßt und die Blickrichtung nicht ändert.

Nach 10 sec verlöschen Blendlicht und Fixationspunkte

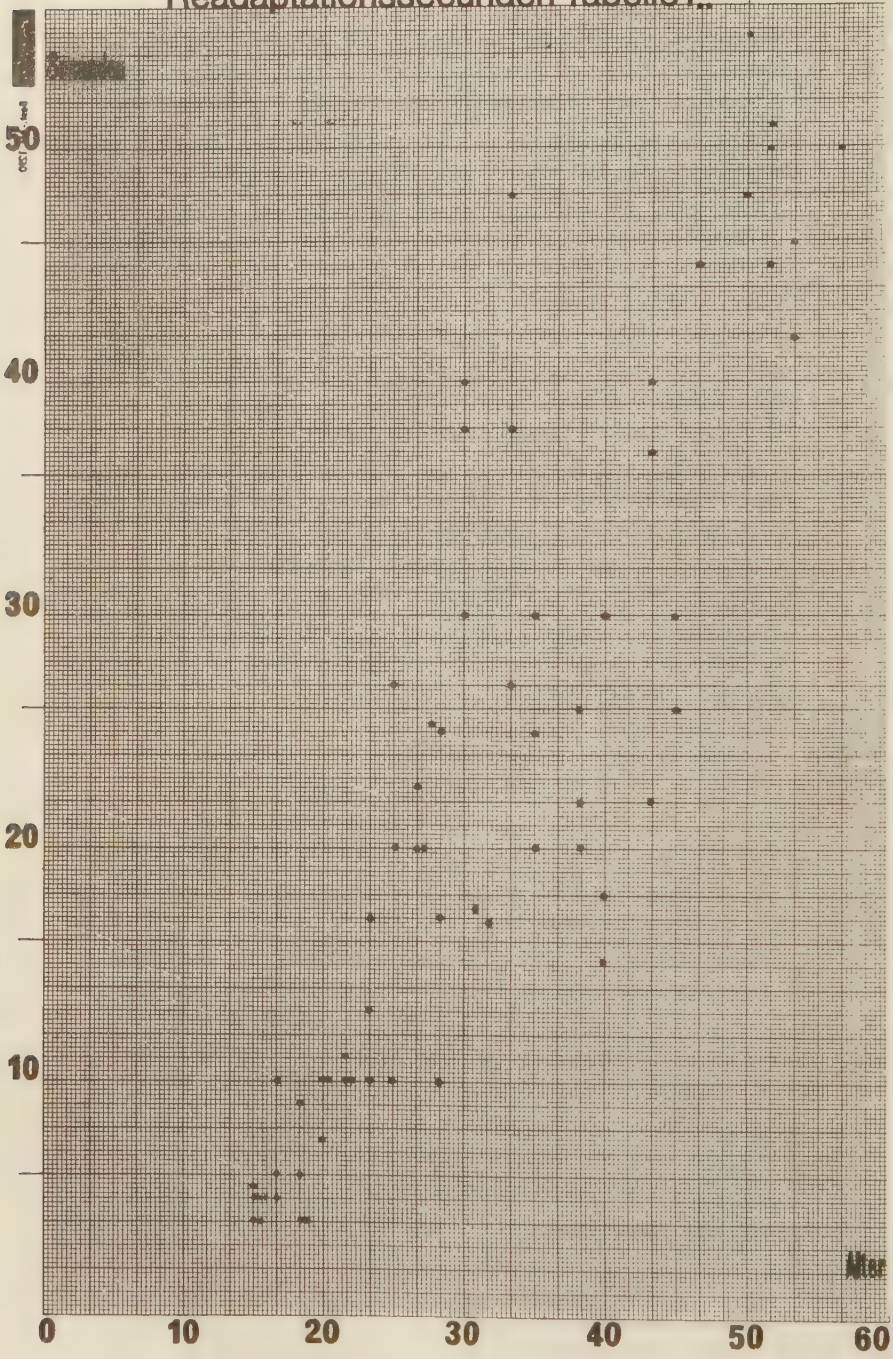
automatisch und die Zeitmessung beginnt. - Sobald der Prüfling die richtige Stellung angibt, wird die Readaptationszeit von der Stoppuhr abgelesen. Die Uhr wird dann wieder auf Null zurückgestellt. Dieser Vorgang wird in der Regel dreimal, bei starker Streuung der gemessenen Zeiten fünfmal hintereinander durchgeführt und der Mittelwert der erhaltenen Zeiten errechnet.

B) Blendungstest mit dem Augenspiegel

Die Versuchsperson sitzt unter einer beweglichen Lichtquelle. Sie wird optimal auskorrigiert, und es wird ihr dann eine Leseprobe nach NIEDEN, die nicht vergilbt sein soll, um den Kontrast von Schrift und Untergrund 7,9:1 zu gewährleisten, in die Hand gegeben. Die Leseprobe wird von der Lichtquelle her mit 200 Lux beleuchtet. Dies kann mit einem Luxmeter kontrolliert werden, indem die Fotozelle des Luxmeters umgekehrt, also in Richtung auf die Lichtquelle, auf die Leseprobe gelegt wird. Bei dem üblichen Reflexionskoeffizienten von 0,77 hat die Leseprobe dann eine Leuchtdichte von 154 asb. Dann wird der Lichtkegel des Augenspiegels auf die Fotozelle des Luxmeters gerichtet und durch Änderung der Einstellung des Transformators (Grobeinstellung) bzw. durch Änderung der Entfernung von Glühbirne im Spiegel zur Austrittsöffnung (Feineinstellung) so variiert, daß das Luxmeter eine Beleuchtungsstärke von 30 Lux anzeigt. Dies entspricht, wie Leuchtdichtemessungen am Lichttechnischen Institut der Technischen Universität (Direktor Professor Dr. HELWIG) ergeben haben, einer Leuchtdichte von 660.000 asb in der Austrittsöffnung des Spiegels. Die Leuchtdichte des Augenspiegels, mit der geblendet wird, liegt damit zwischen der eines aufgeblendeten Autoscheinwerfers (3 Mill. asb) und dem Abblendlicht von 36.000 asb. Mit diesen 660.000 asb wird die Makula eines jeden Auges für 30 sec ausgeblendet, und zwar unter Sicht des Auges des Untersuchers. Dann wird die Zeit

gemessen, die vergeht, bis die VP unter den gleichen Bedingungen wie vor der Blendung die Zahlen der NIEDEN-I-Reihe, die die kleinste Schrift der Leseprobe darstellt, lesen kann, und zwar mindestens 5 Zahlen hintereinander. Es ist nicht zweckmäßig, den Text der Reihe nach lesen zu lassen, weil dieser zu leicht auswendig gelernt wird. Während dieser Untersuchung bleibt das andere Auge abgedeckt. Die Pupillen dürfen nicht beeinflußt werden. Während der Blendung ist es empfehlenswert, eine eventuelle Brille abzusetzen. Bei monokularer Prüfung beider Augen wird bei Differenzen in der RAZ der Mittelwert festgehalten. Der Grenzwert der Readaptationszeit beträgt unter diesen Bedingungen, wie die statistische Auswertung umfangreicher Untersuchungen ergeben hat, bei 20-jährigen bis zu 28 sec, darüber hinaus die Zahl der Lebensjahre multipliziert mit 1,4 sec. Es ist Voraussetzung, daß NIEDEN I gelesen wird. Wird dies nur monokular erreicht, so kann dieser Test nur an diesem Auge durchgeführt werden. Erkennt kein Auge der VP die Zahlen der NIEDEN-I-Reihe, so entfällt der Blendungstest.

Readaptationssecunden Tabelle I.



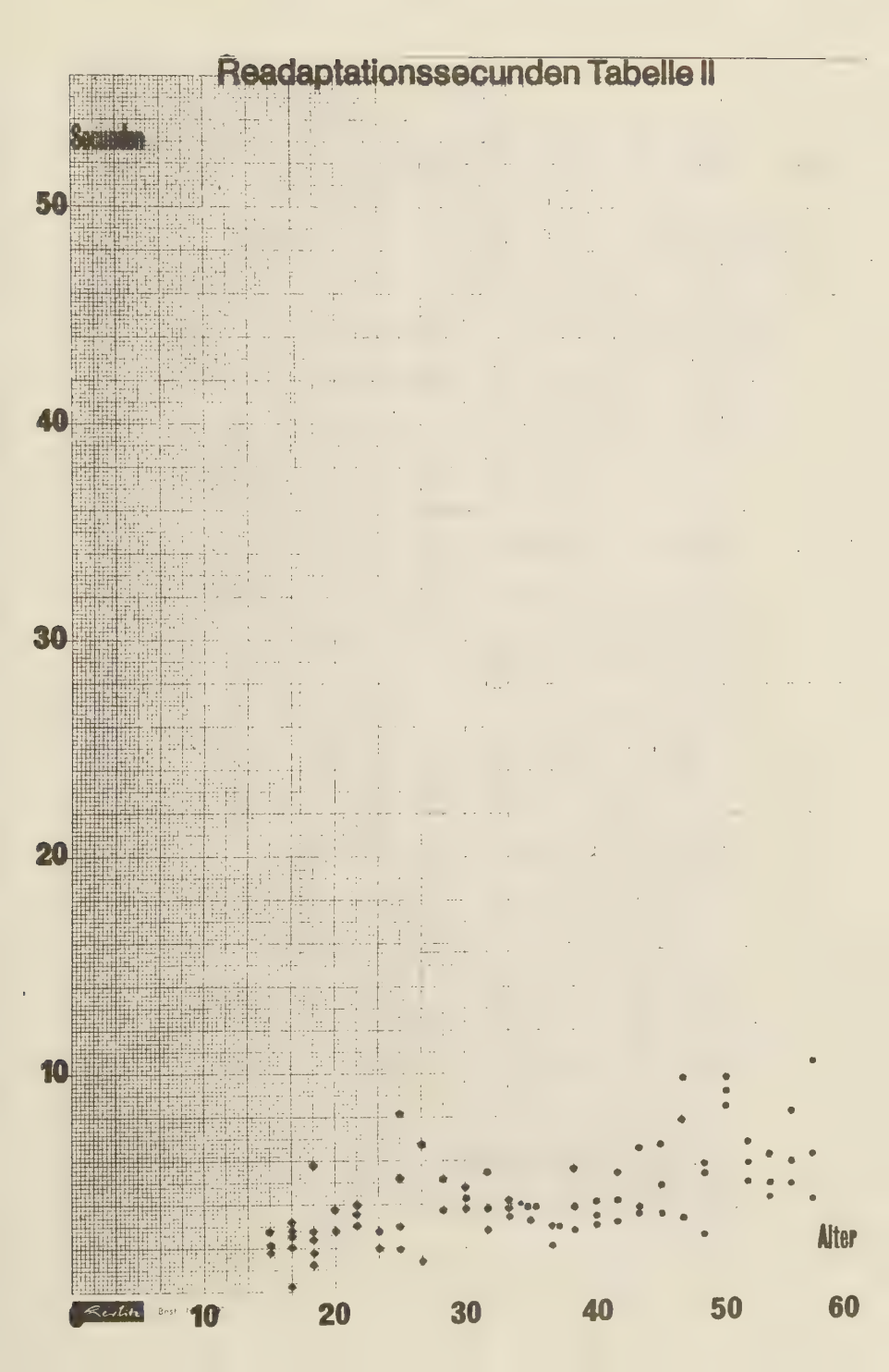

Readaptationssecunden Tabelle II
Secunden
50
40
30
20
10
Alter
10
20
30
40
50
60

Tabelle III

Jahre	15 - 19 M	15 - 19 A	20 - 29 M	20 - 29 A	30 - 39 M	30 - 39 A	40 - 44 M	40 - 44 A	45 - 49 M	45 - 49 A
	2	4	3	7,5	4	35	3,2	30	3,5	40
	3	5	4	10	5	40	4,2	30	10	60
	2,4	5	3,2	10	4,5	30	3,6	30	3,6	30
	2,6	5	3,8	11	5,5	45	5,0	20	7	60
	2,2	4	3	10	4	35	3,1	25	6,5	60
	2,2	5,5	2,2	10	3,2	27,5	4,4	30	5	60
	2,4	5	2,2	10	4,6	30	6,7	40	4,4	40
	2,6	6	4,2	13,5	3,5	20	3,5	30	5	30
	2,2	5	2	17,5	6	30	4	40	4	30
	3,6	10,0	8,6	27,2	3,0	22,5	7	30	8,2	30,5
	3	9	7	20	4	25	5	30	5,4	35
	2	4	1,6	10	4	20	2,5	27	5,5	30
	2,2	4	5,6	20	3,2	15	5	10	4,0	15
	1,4	2,5	4	20	5,2	15	10	30	6,2	15
	6	15,0	3,4	22,5	2,2	30	3,4	37,5	4	40
	2,4	5,0	2	10	3	22,5	2,5	30	5,5	15
	2	10	6	27,2	5,0	40	5,5	45	10,5	45
	2,4	10	3,4	27	4	37,5	3	44	2,5	60
	2,8	10	5,4	17,5	3,5	30	6	35	4,2	45
	2,5	10	2,8	10	3	25	5	30	3,4	30

M = Mesoptometertest – secunden

A = Augenspiegeltest – secunden

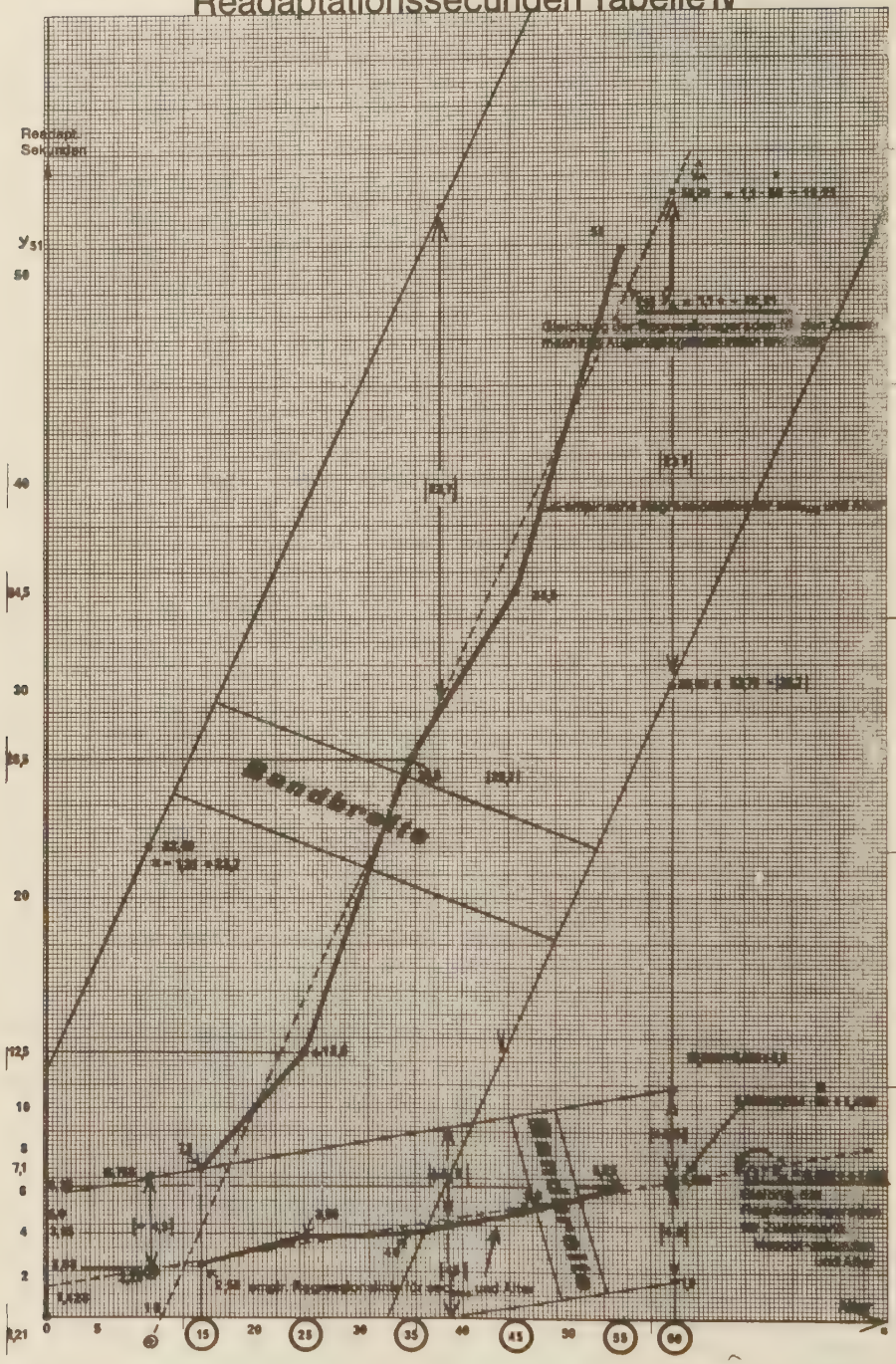
VI. Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden zur graphischen Darstellung gebracht, s. Tab. I und II. Die Abscissen beider Koordinatensysteme beziehen sich auf das Alter der VP, die Ordinaten auf die RAZ, gemessen in Sekunden. Die graphische Darstellung der Tab. I zeigt die Ergebnisse, gewonnen unter Verwendung des Augenspiegels, die der Tab. II jene, die mit Hilfe des Mesoptometers erzielt wurden. Tab. III schließlich erfaßt zahlenmäßig beide Untersuchungsreihen.

Es ergeben sich folgende Erhebungen:

1) Tab. I und II stellen die Streudiagramme für die einzelnen Untersuchungsergebnisse dar.
   Unter Voraussetzung gleicher Maßstäbe tritt der mit dem Augenspiegeltest erhaltene Zusammenhang zwischen RAZ und Alter deutlicher hervor als der mit dem Mesoptometer gewonnene.
2) Hat die Gruppe der 25-jährigen bei der Blendung mit dem Augenspiegel eine RAZ von durchschnittlich 16 sec, so beträgt diese bei den 55-jährigen durchschnittlich 47,5 sec.
   Die Mesoptometerwerte für die gleichen Altersgruppen betragen im Durchschnitt 4,05 und 5,1 sec. Es läßt sich aus den beiden Altersgruppen jeweils ein Anstieg berechnen, der sich bezüglich des Tests mit dem Augenspiegel auf 297% und mit dem Mesoptometer auf 12,6% beläuft.
3) Es wurde das Verhältnis der arithmetischen Mittel der Sekundenzahlen von Mesoptometer- und Augenspiegel- Versuchen aller VP errechnet. Es geht hervor, daß die Zeit, die eine VP durchschnittlich für die RAZ braucht, bei Blendung mit dem Augenspiegel 6,56mal so hoch ist wie bei Blendung mit dem Mesoptometer.
4) Zur näheren Erläuterung diene Tab. IV, die eine Straffung der Daten der Streudiagramme zeigt. Es wurden hierbei

Readaptationssecunden Tabelle IV



aus diesen die empirischen Regressionslinien und die Gleichungen der theoretischen Regressionsgeraden berechnet.

Unter der Voraussetzung von $y = y(x)$
ergeben sich für die empirischen
Regressionslinien folgende Wertepaare:

Alter:	15	25	35	45	55
Augensp. Sek.	7,10	12,50	26,50	34,50	51
Mesopt. Sek	2,58	3,95	4,00	5,00	6,25

Für $y = y(x)$ betragen
die Unbestimmtheits-Bandbreiten bei 2,5758 (99% aller Fälle)
a) für Schätzwerte y_A aus Regress Gleichg. (1) - 23,7 Sek.
b) für Schätzwerte y_{Mes} aus Gleich. (2) $\pm$ 4,5 Sek.
Die Korrelationskoeffizienten sind
$r_A = 0{,}86$; ausgeprägte Korrelation
d.h. sehr starke Abhängigkeit der Readaptationszeit vom Alter, die mit Augenspiegel gemessen werden kann.
$r_M = 0{,}56$; sehr schwache Korrelation
d.h. mit dem Mesopt. kann die Readaptationszeit-Änderung mit steigendem Alter relativ schlecht gemessen werden.

Daß diese Verlängerung der RAZ auf die altersphysiologische Verlangsamung des retinalen Stoffwechsels zurückzuführen sei, wurde bereits erwähnt.

Von der praktischen Seite her seien hier einige vergleichende Beobachtungen beschrieben, die während der gesamten Versuchsreihen gemacht wurden:

1a) Beim Augenspiegeltest wird die Makula ausgeblendet. Praktisch unbeeinflußt vom jeweiligen Adaptationszustand des Auges ist in kurzer Zeit der Sehfarbstoff ausgeblichen. Man spricht hierbei von Infeldblendung, da nur ein kleiner Netzhautbereich, dem Lichtkegel des Auges entsprechend, geprüft wird.

1b) Beim Mesoptometer-Test sieht die VP zwischen zwei Punkte neben die Blendquelle und dies bedeutet, daß ihr Infeld durchaus nicht voll ausgeblichen wird. Hier liegt also lediglich im Bereich der Makula eine Ausbleichung durch Streulicht vor.

2a) Die Dauer der Belichtung mit dem Augenspiegel beträgt 30 sec. Der Zeitfaktor spielt insofern eine Rolle, da sich nach TIBURTIUS eine Abhängigkeit der RAZ von der Blendungszeit feststellen läßt, die ihr Maximum bei 60 sec hat. Erst danach wird keine Verlängerung der RAZ mehr gefunden.

2b) Im Gegensatz dazu ist die Zeit bei der Messung mit dem Mesoptometer auf 10 sec beschränkt. Diese Zeit dürfte zu kurz sein, um den ohnehin schon gestreuten Lichteinfall auf die Makula noch zu intensivieren. Daraus geht hervor, daß eine Ausbleichung des Sehpurpurs beim Mesoptometer in weit schwächerem Maße als beim Augenspiegel erfolgt. Die Ausbleichung aber ist wesentlich, denn erst wenn dieser Vorgang konzentriert erfolgt, läßt sich eine verwertbare RAZ bestimmen, die ja diejenige Zeitspanne darstellt, die vergehen muß, bis der Sehpurpur wieder voll regeneriert ist. Diese Regeneration schließlich zeigt sich im Wiedererkennenkönnen bzw. Wiederlesen von Zeichen. Sie ist bekanntlich mit fortschreitendem Alter durch die Abnahme der retinalen Empfindlichkeit geschwächt. Letztere zu erfassen ist die Aufgabe, die beiden Geräten gestellt wurde, nicht zuletzt auch um der schon älteren Verkehrsteilnehmer willen.

3a) Von der VP gesehen bieten sich beim Mesoptometer Täuschungsmöglichkeiten. Der Kopf der VP befindet sich zwar im Blendlichtkegel, ihre Blickbewegung kann jedoch nicht genau kontrolliert werden. Schon allein durch unangenehmes Empfinden der Blendung (wie LOSSAGK es beschrieb) oder durch Nervosität können geringe Abweichungen der Blickrichtung von den Fixa-

tionspunkten hervorgerufen werden, die das Meßergebnis beträchtlich verfälschen können, die aber auch ein aufmerksamer Beobachter nur schwer bemerkt.

3b) Der Augenspiegel zeigt eine wesentlich größere Genauigkeit, denn hier blendet der Prüfer unter Sicht seiner eigenen Augen die Makula der VP.

4a) Die wahren RAZ sind mit dem Mesoptometer deshalb nicht immer objektiv feststellbar, weil die Gefahr besteht, daß die VP eine gewisse Zeit beanspruchen kann, um die Stellung des LANDOLT-Ringes zu formulieren. Hier tritt sozusagen ein zusätzlicher "Reaktionsfaktor" auf, der sich mit zunehmendem Alter der VP im Durchschnitt ändern wird. Da dieser Faktor bisher noch nicht bestimmt worden ist, dürften die gefundenen RAZ nicht als ganz korrekt anzusehen sein.
Aber auch die Einstellung der Probanden zur Untersuchung sollte berücksichtigt werden; waren bei den hier aufgeführten Versuchsreihen doch gerade bei den älteren VP zum Teil pedantische Charaktere zu finden, die ihre Antworten sehr genau nahmen und eine gewisse Zeit vergehen ließen, ehe sie sich überhaupt äußerten - trotz vorheriger ausführlicher diesbezüglicher Ermahnungen. Andererseits war bei den jüngeren VP durch deren durchweg oberflächlichen Einstellung - auch mit Ermahnungen - häufig erst nach öfterem Üben vernünftige Ergebnisse zu erzielen.

4b) Innerhalb der Versuchsreihen mit dem Blendungstest war festzustellen, daß dieser "Reaktionsfaktor" mit dem Augenspiegel gar nicht oder nur minimal auftrat, da hier lediglich das Lesen von Zahlen gefordert wurde.

Es ist bei unseren Versuchen keine ins Auge fallende Altersabhängigkeit bei Prüfungen mit dem Mesoptometer zum Ausdruck gekommen. Aus den Berechnungen und den Grafiken läßt sich, bezogen auf unsere VP sagen, daß das Gerät hinsichtlich der RAZ keine deutlichen Ergebnisse bringt. Zudem

ist seine Versuchsanordnung ungenau. Der Forderung von AULHORN, daß besonders die älteren Personen berücksichtigt werden sollen, kann mit diesem Gerät nicht entsprochen werden. Das besagt nicht, daß seine Anschaffung im Hinblick auf andere Untersuchungsmöglichkeiten nicht wertvoll sein mag; dies war aber hier nicht zu diskutieren.

Ersetzt der Augenspiegel das Mesoptometer auch nicht, so hat diese Methode bei unseren VP eine weit deutlichere Altersabhängigkeit der RAZ herausgestellt. Es sei hier gesagt, daß für den praktischen Augenarzt - sofern er nur die RAZ prüfen will - nicht die Notwendigkeit besteht, sich ein Mesoptometer anzuschaffen. Der Blendungstest erfaßt die Varianten einfacher und genauer.

VII. Zusammenfassung

Die Einleitung beleuchtet die heutige verkehrsmedizinische Situation, die verstärkt nach Prüfungen für die allgemeine Sicherheit verlangt.
Danach wird die physiologisch-optische Problematik erläutert, die Aspekte bezüglich der Themen Lichtempfindungen, Adaptation und Blendung aufweist.
Die sich daran anschließenden verkehrsmedizinischen Betrachtungen beziehen sich auf die Lage des Kraftfahrers bzw. Fußgängers im Straßenverkehr und die sich daraus ergebenden notwendigen Untersuchungsmethoden. Hierbei wird die Bedeutung der Messung der Readaptationszeit (RAZ) in klinischer und verkehrsmedizinischer Hinsicht besonders hervorgehoben.
Die RAZ stellt die Dauer der Erholungszeit des menschlichen Auges nach dem Blendungsvorgang dar. Dieser Vorgang ist u.a. altersabhängig und auf die Abnahme der retinalen Empfindlichkeit zurückzuführen, d.h. auf die Verlangsamung des Aufbaues ausgeblichenen Sehpurpurpurs in wieder funktionsfähigen.
Die Blendung im nächtlichen Straßenverkehr stellt ein bisher noch weitgehend ungelöstes technisches und medizinisches Problem dar. Die Bestimmung der RAZ und ihrer Beziehung zu den verschiedenen Altersstufen kann dazu beitragen, diese Situation zu verbessern.

Hier wurden zwei unterschiedliche Untersuchungsmethoden angewandt, um die Readaptationszeiten und ihre Relation zu verschiedenen Altersklassen zu bestimmen und zu vergleichen.

Die Untersuchungen erfolgten an 100 augengesunden Versuchspersonen im Alter zwischen 15 und 60 Jahren und wurden mit dem Augenspiegeltest und dem Mesoptometer durchgeführt.

Aus den graphischen Darstellungen und den Berechnungen ist zu erkennen, daß die relativ einfache Methode mit dem Augenspiegel die Beziehung der RAZ zu den einzelnen Altersstufen wesentlich deutlicher hervorhebt als die kompliziertere und von mehr Imponderabilien begleitete Untersuchung mit dem Mesoptometer.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

AULHORN, E.: Über die Beeinträchtigung der Fahrsicherheit durch Sehmängel. Verkehrswissensch. Seminare e.v. 21.Sept. - 17.Okt. Hambg., S.11

AULHORN, E.: Die Blendung aus der Sicht des Ophthalmologen. 65. DOG. Heidelberg 1963, S.455

BRINDEY, G. und WILLMER, E.: Reflection of light from macular and peripherealen fundus oculi in man. Physiol. London, S.116, 350, 1952

BREGEAT, P. und ARON: Sitzung des Nat. Kongresses über den Straßenverkehrsunfall. Paris, 10./11.Okt. 1959 Ref. Zbl. Verkehrsmed. 6, 235 (1960)

BITZEL, F.: Die Elemente der optischen Verkehrsführung auf Straßen. Kuratorium für Verkehrssicherheit, kleine Handbuchreihe, Band 3, Verkehrstechnik als Aufgabe und Ziel, Wien, Sept. 1962

BÜRGER-PRINZ, H.: Psychologie des Straßenverkehrs. Bild der Wissenschaft, 2.Jahrgang, Heft 7 Deutsche Verlagsanstalt Stuttgart

BUNGE, E.: Zum Dämmerungssehen bei Aphakie. Klin. Mbl. Augenkl. Bd. 140, S.119, 1961

GRAMBERG-DANIELSEN, B.: Sehen und Verkehr. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-Göttingen-New York 1967

GRAMBERG-DANIELSEN, B.: Augenarzt und Straßenverkehr. Bücherreihe des Augenarztes Ferdinand Enke-Verlag Stuttgart, S.42 - 43, 1964

GRAMBERG-Danielsen, B.: Optische Funktionsleistungen im Verkehr, in: K. Velhagen: Der Augenarzt, Bd. 6, Edition Leipzig, Verlag für Wissenschaft und Kunst, 1964

GRAMBERG-DANIELSEN, B.: Dunkeladaptation, Beleuchtung und Blendung im Straßenverkehr. Klin. Mbl. Augenheilk. 138, 403, 1961

HABER, H.: Bild der Wissenschaft 7/1965, S.518

HENRI: zit. nach LEUTHARDT, F.

HERWIG: zit. nach BÜRGER-PRINZ, H.

HOSSE, H.: Verkehrsunfälle bei Nacht. Int. Lichtrundschau (4), 1960

KEIDEL, W.D.: Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie. Georg Thieme-Verlag, 1965

KUBY, E.: zit. nach HABER, H.

LANGE, F.: Untersuchungen über die normale Verteilung des Lichtsinns in der Netzhaut und ihre Altersabhängigkeit. Graefes Arch. Ophthalm.153, S.93, 1952

LANDOIS-ROSEMANN: Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Urban u.Schwarzenberg, München-Berlin, Bd.2, 28.Aufl. 1962

LAVES, BITZEL, BERGER: Der Straßenverkehrsunfall. Ferdinand Enke-Verlag, Stuttgart, 1956

LEUTHARDT, F.: Lehrbuch der physiologischen Chemie. 15.Auflage Walter de Gruyter u. Co., Berlin, 1963

LOSSAGK, H.: Die Blendstörwirkung im Straßenverkehr. Deutsche Kraftfahrforschg. Heft 90, 1955

LOSSAGK, H.: Sinnestäuschung und Verkehrsunfall. Verkehrs- u. Wirtschaftsverlag Dortmund, 2.Aufl., 1953

LOSSAGK, H.: Sehsicherheit bei Tageslicht in Unterführungen. Lichttechnik 7, 49, 1955

MONJÉ, M.:	Der Lichtsinn. Physiologie des Auges, in: K. Velhagen: Der Augenarzt, Bd.1 Georg Thieme-Verlag, Stuttgart, 1958
MONJÉ, SCHMIDT, SCHÜTZ:	Der Gesichtssinn. Lehrbuch der Physiologie von Trendelenburg. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1961
MÜNSTERBERG:	zit. nach BÜRGER-PRINZ, H.
NOLTE, W.:	Die Leuchtdichten-Verhältnisse im Stadtverkehr als Grundlage für die Augenuntersuchungen von Kraftfahrern. 64.DOG. S.543, 1961
PAPST, W. und ECHTE, K.:	Das Problem der Blendungsempfindlichkeit für die Sicherheit im Straßenverkehr. Med. Welt, 1409, 1961
PAHLITZSCH, H.:	Inaugurat. Diss. FU Berlin 1954
PIEROWSKI:	zit. nach BÜRGER-PRINZ
POPPELREUTHER:	zit. nach BÜRGER-PRINZ
REIN SCHNEIDER:	Physiologie des Menschen. Springer-Verlag Berlin-Göttingen-Heidelberg 15.Auflage, 1964
RANKE, O.:	Objektive Lichtverhältnisse bei der Blendung. Arbeitsphysiologie 15, S.388, 1954
REEB, O.:	Licht- und Verkehrsgeschehen. Arb. Tgg. im Kurf.Schloß zu Mainz 23. u. 24.März 1966, Lichttechn.Ges. "Auge, Licht, Verkehrsgeschehen"
SCHOBER, H.:	Das Sehen. Bd.3, VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 1964
SCHOBER, H.:	Einführung in die Zusammenhänge zwischen Auge, Licht, Verkehrsgeschehen, aus: "Auge, Licht, Verkehrsgeschehen" Arb.Tgg. im Kurf.Schloß zu Mainz 23.u. 24.März 1966, Lichttechn.Ges.

TIBURTIUS, H.: Über das Blendungsskotom. Bericht 64. Zusammenkunft DOG, S.551, 1961

TIBURTIUS, H., WOJAHN, H., GLASS, F.: Über die Readaptationszeit des menschlichen Auges nach fovealer Blendung unter Alkoholbelastung. Albrecht v. Graefes Arch. 169, 318, 1966

TIBURTIUS, H.: Untersuchungen über die Readaptationsdauer bei Aphaken. Klin. Monatsbl. f. Augenhkd. 151, 900, 1967

TIBURTIUS, H.: Über die Gefährdung alter Menschen im nächtlichen Straßenverkehr unter besonderer Berücksichtigung der Blendung. Forschung, Klinik, Fortbildung, H. 14, 411, 1967

TIBURTIUS, H.: Über die Readaptationszeit des menschlichen Auges nach fovealer Blendung. Habilitationsschrift Augenklinik der FU Berlin 1967

TIBURTIUS, H.: Verkehrsmedizinische Aspekte in der Augenheilkunde. Berl. Med. 19, 61, 1968

TIBURTIUS, H.: Über die Erholungszeit des menschlichen Auges nach zentraler Blendung. Fortschr. der Med. 87, 173, 1969

TIBURTIUS, H.: Der Blendungstest in Klinik und Praxis. Albrecht v.Graefes Arch. 178, 333, 1969

WATZKA, M.: Kurzlehrbuch der Histologie und mikroskopischen Anatomie des Menschen. Friedrich-Karl-Schattauer-Verlag Stuttgart, 2.Aufl.

Ich möchte Herrn Professor Dr. H. TIBURTIUS für den Vorschlag zu diesem Thema und seine Anregungen auf diesem Wege sehr herzlich danken.

Dank schulde ich Herrn Polizeidirektor SCHARF für die Erlaubnis, meine Versuche an 100 augengesunden Verkehrspolizisten durchführen zu dürfen, wobei mein besonderer Dank seinen liebenswürdigen Kollegen für die freundliche Betreuung gilt.

Herrn W. KUBE danke ich für Hinweise zur Auswertung.

L E B E N S L A U F

Ulrike **F e i l** geb. Franke, geboren am 27. 5. 1945 in Stockum Kreis Arnsberg/Westfalen, als Tochter des Chirurgen Dr. med. H. Franke und seiner Ehefrau Edith geb. Rott.

1950 - 1954	Besuch der Christoph-Steinmeyer-Volksschule in Düsseldorf
1954 - 1955	Besuch der Luisen-Oberschule in Düsseldorf
1956 - 1962	Besuch der Wilhelm-Löhe-Oberrealschule in Nürnberg
1962 - 1964	Besuch der Schiller-Oberrealschule in Berlin
1964	Abitur daselbst
1964	Aufnahme des Studiums der Humanmedizin an der Freien Universität Berlin
1966	Physikum daselbst
1967	Studium in Düsseldorf
1968	Studium in Wien
1968	Heirat mit Dr.rer.pol. Wolfgang Dietmar Feil
1969/1970	Staatsexamen an der Freien Universität Berlin

Berlin, den

Druck: Dissertationsdruckstelle, 1 Berlin 33, Garystr. 45